TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 204-Julho-1950

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Mais quilometragem
Mais comodidade
Mais segurança

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
204
Julho — 1950

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ
ADMINISTRADOR
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ
SECRETÁRIO
MANUEL MARQUES MAIA
BIBLIOTECÁRIA
MARIA HELENA PORTUGAL DA SILVEIRA
CORPO REDACTORIAL
ARMANDO COUTINHO DE LENCASTRE
JÚLIO FERREIRA LOPES
MARGELINO ABREU COSTA
HENRIQUE CANALES PEREIRA

NÚMERO AVULSO 9$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

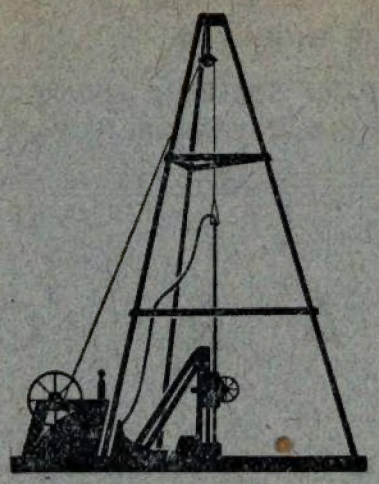
COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos. Obra de Campilhas. — «Tournapull» executando movimentos de terras para a barragem.

		Págs.
Electrificação Ferroviária	Eng.º José Albino Machado Vaz	1201
Os ultra-sons na técnica metalúrgica	Agostinho Bargone	1218
Estudo do circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado em regime forçado .	Eng.º Manuel José de Abreu Faro	1227
A Mecânica do Solo e as suas aplicações	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	1247
Biblioteca	. . . . .	1264

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES



RODIO

As melhores referências no país e no estrangeiro

SONDAGENS RODIO, Limitada

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

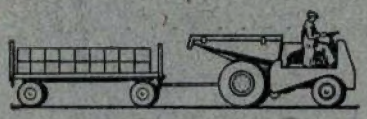
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

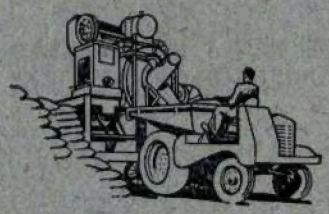
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

WILD

NOVAS CONSTRUÇÕES

MICROSCÓPIOS para investigação e indústria

MONOCULARES E BINOCULARES

A mais moderna técnica, com ou sem

EQUIPAMENTO DE CONTRASTE DE FASE

Vários modelos para entrega imediata em Lisboa

Catálogos descritivos ilustrados ao dispor de todos os interessados

Representantes exclusivos e Depositários:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 — LISBOA

TELEF. 24314/15 TELEGRAMAS TECNA

WILD HEERBRUGG

L. M. ERICSSON

STOCKHOLM SUÉCIA

- INSTALAÇÕES TELEFÓNICAS DE TODOS OS SISTEMAS
- SISTEMAS TELEFÓNICOS POR ALTA FREQUÊNCIA
- SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO
- INSTALAÇÕES DE VIGILÂNCIA E DE CONTROLE A DISTÂNCIA
- SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÕES E SONORIZAÇÃO, RECEPTORES
- INSTRUMENTOS DE MEDIDA E CONTADORES ELÉCTRICOS
- PRENSAS HIDRÁULICAS E MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS
- CONDENSADORES PARA CORRIGIR O FACTOR DE POTÊNCIA
- MOTORES ELÉCTRICOS
- DIVERSA APARELHAGEM TELEFÓNICA E ELÉCTRICA
- FIOS E CABOS TELEFÓNICOS E ELÉCTRICOS

Agentes Gerais em Portugal:

SOCIEDADE HERRMANN L.DA

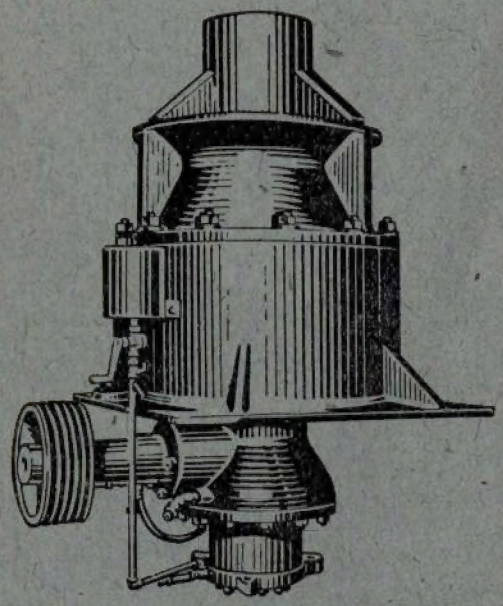
Calçada do Lavra, 6 — LISBOA

Telefones { **2 3168** / **2 3169** } **Telegramas: LAVRA**

Oficina de construção e reparação de material telefónico e eléctrico

ALLIS-CHALMERS

O fabricante de maior variedade de equipamento industrial do mundo



TRITURE MAIS TONELADAS A MENOR PREÇO

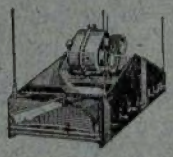
ALLIS-CHALMERS fabrica trituradoras giratórias e de maxilas para toda a classe de operações de trituração, que podem triturar grandes quantidades de pedra ou minério a baixo custo e com resultados uniformes.
A da gravura é giratória, de grande capacidade; usa-se em reduções primárias e secundárias.
As trituradoras de maxilas possuem grandes aberturas de alimentação e superfícies de trituração de ligas de resistência especial. Efectuam trabalho mais violento com grande rendimento.

QUEIRA CONSULTAR-NOS SOBRE MAQUINARIA:

Os equipamentos ALLIS-CHALMERS satisfazem as necessidades de muitas indústrias e são famosas pela sua segurança e excelente construção.

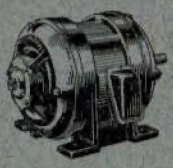
Equipamento eléctrico

Transformadores



Crivos

Centrais



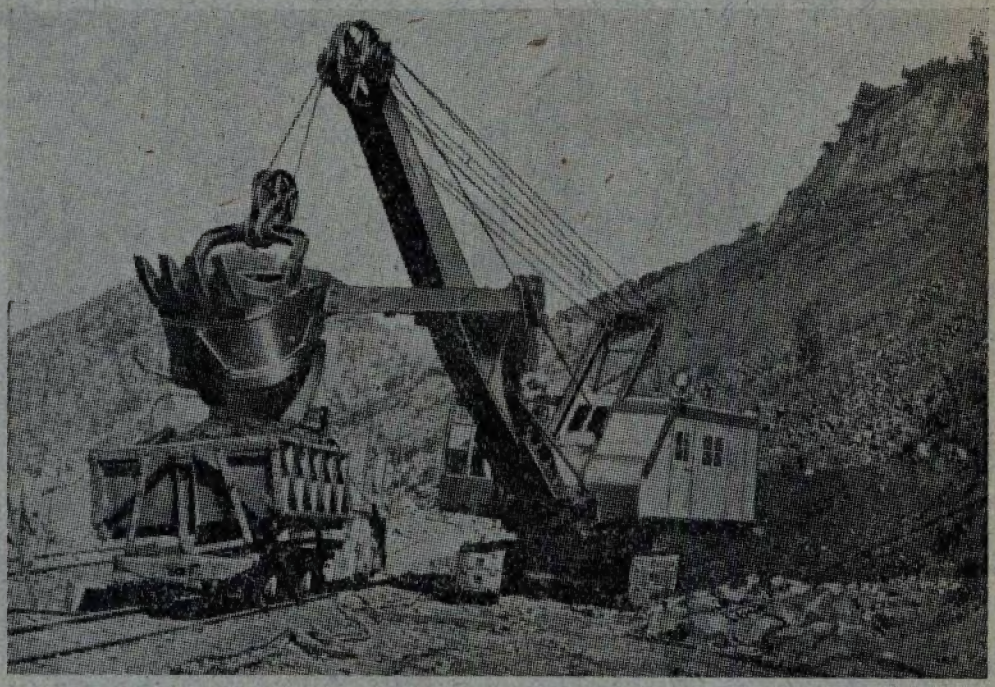
Motores

ESTABELECIMENTOS HEROLD, LIMITADA

Rua dos Douradores, 7 · Lisboa · Telef. 2 4221/3

RUSTON BUCYRUS LIMITED

ESCAVADORAS — SONDAS



ESCAVADORAS:

Capacidades 3/8 a 3.1/2 jardas cúbicas

SONDAS:

Para furos de 4" a 16" até à profundidade de 300 metros

REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

MONTEIRO GOMES, L.DA

RUA CASCAES, 47 (ALCANTARA) — LISBOA

FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÃO MECÂNICAS

S. A. R. L.

OEIRAS

Uma grande organização na «Indústria Metalúrgica e Metalomecânica nacional»

Com **Fábrica** onde se produz:

Fundição de ferro, Ferros Ligas e Metais, Esmaltes — Esmaltagem

OFICINAS DE SERRALHARIA E FORJAS

Alguns artigos de série:

Banheiras de ferro fundido esmaltado — Todos os artigos sanitários para casa de banho e cozinha — Caldeiras e radiadores para aquecimento central — Salamandras — Fogões e fogareiros a gás — Fogões a lenha e carvão — Escadas e escadotes — Tábuas de engomar — Material para construção civil (aros para claraboias, sifões de pátio, ventiladores, portinholas, olhos de boi, autoclismos, etc.) — Bancos de jardim — Candeeiros para iluminação pública, etc

PROJECTOS, ORÇAMENTOS E EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES E AQUECIMENTO CENTRAL

Vendas directas ao comércio da especialidade

Telef. Oeiras { Administ. 156 / P. B. X. 126/127

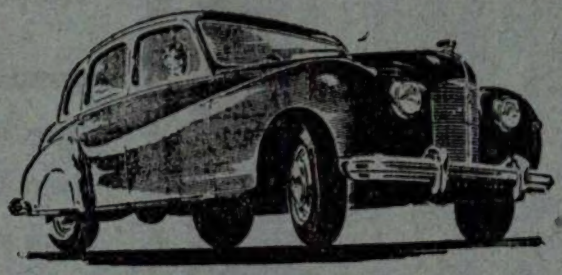
Teleg. Fundição — OEIRAS

Correio: Apartado 711
LISBOA — CENTRAL

SECÇÃO DE AQUECIMENTO

Av. António Augusto de Aguiar, 7-A

Telefone 4 1110



AUSTIN "A 70,,

"AUSTIN,, EXCEDE TODA A ESPECTATIVA
"AUSTIN,, É UMA OBRA PRIMA DE ENGENHARIA
"AUSTIN,, É PARA OS CONHECEDORES

MODELOS "A 40,, E "A 70,, IDEAIS
PARA SERVIÇO DOS ENGENHEIROS

DISTRIBUIDORES GERAIS
J. J. GONÇALVES, SUCRS.
LISBOA PORTO
AGENTES EM TODOS OS DISTRITOS

ÓLEO MAIS RESISTENTE DO QUE A ROCHA

Neste triturador rotativo estalam e partem-se como nozes os blocos de rocha apertados entre as superfícies cônicas, fixa e móvel.

Submetida a pressões tão fortes, que nem a rocha pode suportar, há uma ténue película de óleo que deve revestir as superfícies dos moentes e os dentes das engrenagens e impedir contacto metálico, causador de aquecimento e desgaste.

Consegue-se este fim sòmente com óleos de excepcional qualidade, tais como o Gargoyle Vactra Oil AA, cujas propriedades de aderência e tenacidade dão protecção eficaz às peças em movimento, mesmo quando expostas a pressões e choques violentos — o que significa redução máxima do atrito e do desgaste, assim como baixo custo de manutenção.

Há outros óleos VACTRA para condições de funcionamento diferentes, todos da mesma qualidade e com propriedades idênticas.

SOCONY-VACUUM OIL COMPANY, INC.

TÉCNICA

JOSÉ MARIA AVILLEZ
DIRECTOR

ANO XXVI - N.º 204 JULHO 1950

ELECTRIFICAÇÃO FERROVIÁRIA

Conferência realizada pelo Eng.º José Albino Machado Vaz (I. S. T.) no Instituto Superior Técnico no dia 26 de Maio, a convite da Associação dos Estudantes do I. S. T.

C. D. 621.331 (469)

Por que electrificar

Numa notável conferência de propaganda, proferida em Janeiro de 1948 na Associação dos Electrotécnicos Belgas, o engenheiro Antoine Lessines, Presidente da Comissão de Electrificação dos Caminhos de Ferro, dizia com o peso da sua autoridade e o entusiasmo da sua convicção:

«Mesdames, Messieurs,

Il faut électrifier nos chemins de fer, sans nouveau délai, largement, audacieusement, parce que:

1º l'opinion publique le réclame;
2º les techniciens en proclament unanimement l'utilité;
3º les plus hautes instances scientifiques le confirment;
4º l'étranger nous en donne l'exemple;
5º la Société Nationale n'a pas d'autres alternatives;
6º les usagers exigent un meilleur service;
7º la coordination des transports l'impose;
8º le renflouement définitif de la plus importante entreprise du pays est à ce prix;
9º l'économie du pays le demande;
10º le progrès de la Nation ne peut être enrayé;
11º notre industrie doit être revigorée par l'appoint de fabrications spéciales incorporant notre seule et impérissable richesse: la main-d'oeuvre;
12º notre peuple y trouvera des raisons nouvelles de vivre sur sa terre natale.»

Poucas vezes tenho encontrado enumeradas de forma tão concisa e directa, e por isso mesmo tão convincente, algumas razões por que os comboios devem ser electrificados.

Se nem todas se aplicam ao nosso caso, a sua grande maioria é válida tanto para a Bélgica como Portugal, ou qualquer país civilizado da velha Europa.

É certo que, por falta de propaganda e vulgarização, a opinião pública em Portugal não reclama ainda a electrificação dos comboios, como reclama (mas não há muitos anos) energia eléctrica abundante e nacional.

É certo que ainda não está feita a unanimidade dos técnicos sobre a sua insubstituível utilidade por falta de se discutir entre todos e amplamente esta questão vital para um país sem carvão e com recursos hidráulicos inaproveitados.

Se a toda a série de razões que um belga aponta, embora no seu país não haja hidro-electricidade e possua carvão abundante e de qualidade para as locomotivas, embora nada precise do estrangeiro para construir o seu material a vapor e, ao contrário, tenha de importar ou construir sob licença algum do material eléctrico de que carece, juntarmos a razão fundamental no nosso caso, de reduzirmos pela utilização dos recursos nacionais as compras enormes de combustíveis que precisamos para as nossas indústrias e transportes, chega a causar calafrios o pensar que até hoje não fosse possível ou tivesse sido decidido electrificar mais que os escassos 25 km que vão do Cais do Sodré a Cascais.

Segundo as estatísticas do ano de 1949, o País importou 870.000 T. de hulha no valor de 386.000 contos, 104.000 T. de óleos combustíveis representando 70.000 contos, 80.000 T. de gasolina representando 104.000 contos e, a isto, que já é tanto, acresce a importação de 280.000 T. de óleos em bruto para destilação, que custaram 226.000 contos.

Um programa de produção de energia, de electrificação industrial e de electrificação ferroviária talvez permitisse reduzir, a pouco menos de metade, o valor de quase 800.000 contos que no ano de 1949 se gastaram em importações de combustíveis.

Mas não nos desviemos dos Caminhos de Ferro que é o assunto da palestra.

É por tal forma conveniente, sobretudo para um país importador em absoluto de combustíveis, a electrificação ferroviária que ela se justificaria, mesmo que a produção de energia continuasse no futuro a ser principalmente térmica como até aqui, o que parece não vir a suceder felizmente (diz-se felizmente porque não temos carvão ou petróleo no subsolo metropolitano).

Se, com energia dos nossos rios, é possível economizar todo o combustível necessário à tracção dos Caminhos de Ferro na parte da rede que venha a electrificar-se, mesmo com a produção térmica de energia, essa economia não podia nem devia ser desprezada.

Sem utilizar os cálculos, ainda hoje exactos, de Parodi, apresentados à Conferência mundial de energia de 1933, basta citar que o engenheiro Musyck, chefe e coordenador dos trabalhos de electrificação na Bélgica, país de produção exclusivamente térmica, calculava em 65 a 70 % a provável economia de carvão resultante da substituição da tracção a vapor pela tracção eléctrica.

Antes de prosseguir, é conveniente dizer algumas palavras explicativas dos números e afirmações que se fazem, que nem a todos poderão ser compreensíveis pelo seu simples enunciado.

As economias de carvão que a tracção eléctrica pode realizar, mesmo com energia de origem térmica, são consequência:

a) — Do baixíssimo rendimento da locomotiva a vapor que, no serviço corrente e para a média geral de um parque de locomotivas de diferentes idades e tipos, não é superior a 3 a 5 %;

b) — No rendimento elevado duma moderna central térmica que excede com frequência 25 % hoje em dia, no rendimento igualmente elevado das linhas, subestações, catenárias e locomotivas eléctricas, o que faz que o rendimento global semelhante ao primeiro, de um parque de locomotivas eléctricas seja 3 a 4 vezes superior.

Se é dilema inexorável do nosso País ou utilizar mais e melhor os recursos de que dispõe ou reduzir o seu já tão baixo nível de vida, parece que não devemos continuar transformando em fumo e cinzas 350.000 T. de carvão ou combustíveis equivalentes em cada ano que passa, para assegurar, e mal, o nosso serviço de comboios. Metade daquela quantidade é gasta em linhas cuja electrificação se justifica e se ela for efectuada deixarão de arder todos os anos o melhor de 60 a 70 mil contos.

Mas há ainda no nosso caso outro argumento decisivo em favor da electrificação dos comboios.

Com electricidade ou sem ela, na Bélgica, Holanda, Inglaterra, Alemanha, França ou

Espanha, os Caminhos de Ferro andam porque não dependem totalmente de importações do estrangeiro.

E os nossos?

Já por duas vezes neste meio século passado verificámos que também andam mas muito mal e destruindo a riqueza florestal do País.

Ora mesmo que se seja pacifista até ao extremo de não admitir mais nenhuma guerra, mesmo que se seja econòmicamente livre cambista sem restrições, parece que haveria bastante a lucrar em se obter, em matéria de transportes terrestres, um bocadinho de autonomia e segurança que hoje se não verifica.

Se outras razões não existissem, mas elas existem como adiante se há-de ver, estas seriam bastantes para condenar a solução Diesel como base do serviço de tracção dos nossos Caminhos de Ferro.

A velha máquina do Stephenson ainda vai andando com os nossos pinheiros, mas a moderna Diesel não se conformará a puxar vagões se lhe não injectarem nos cilindros um *gasoil de boa categoria*.

Vejamos mais alguns aspectos de ordem nacional e ferroviária que conduzem a electrificar.

Ninguém pode negar ser obra do mais alto interesse nacional procurar equilibrar o orçamento dos nossos Caminhos de Ferro.

É este um dos mais árduos problemas da economia actual de todos os países.

Esse equilíbrio não pode resultar apenas duma coordenação de transportes que, levada a efeito sem progresso notável do serviço ferroviário, está de antemão condenada ao insucesso.

É necessário antes da coordenação ou se tanto for preciso ao mesmo tempo, mas nunca depois dela, tornar mais eficiente, mais económico e mais rendoso o sistema ferroviário.

A principal obra que os Caminhos de Ferro na Europa põem em execução com aquelas finalidades é a electrificação das suas principais artérias.

É assim que neste «post-guerra» os holandeses electrificam mais 900 km das suas principais ligações, que os belgas executam o seu plano de 1.500 km, ligando entre si, ao mar e à capital, os principais centros industriais do país, é assim que os franceses ardorosamente trabalham na electrificação da linha Paris-Lyon, que é a mais importante da sua rede e uma das mais importantes da Europa.

É assim que os suíços se apressam a electrificar os últimos quilómetros ainda com tracção a vapor, porque a energia eléctrica é mais barata que antes da guerra e o carvão é 3 a 4 vezes mais caro.

A importância da rede electrificada é mais expressiva pelo tráfego que assegura, que pela extensão que alcança, pois todas as artérias dotadas de tracção eléctrica são geralmente as de maior movimento.

A carta da Europa (fig. 1) que se projecta dá uma ideia genérica da posição quase actual da electrificação dos Caminhos de Ferro.

O desenvolvimento das linhas deve andar por 25.000 km, nesta data.

Queremos, antes de passar a outro capítulo da palestra, tentar desfazer algumas dúvidas que pessoas bem intencionadas podem ter com respeito à oportunidade da electrificação ferroviária.

Não são especìficamente nacionais essas dúvidas e ainda há poucos dias tive oportunidade para ler pequenos extractos de um discurso proferido por Armand, Director-Geral da S. N. C. F. franceses, aquando da inauguração recentíssima da tracção eléctrica no troço Laroche-Dijon da grande artéria Paris-Lyon, em que aquele rebatia críticas formuladas à oportuníssima electrificação efectuada.

Essas dúvidas podem resumir-se desta maneira:

A) — Dada a penúria de energia que se tem manifestado no país haverá possibilidade de abastecer os comboios com a electricidade que precisem?

A minha resposta é plena e convictamente afirmativa — porque:

1.º — Os empreendimentos em curso aumentam dentro de pouco tempo

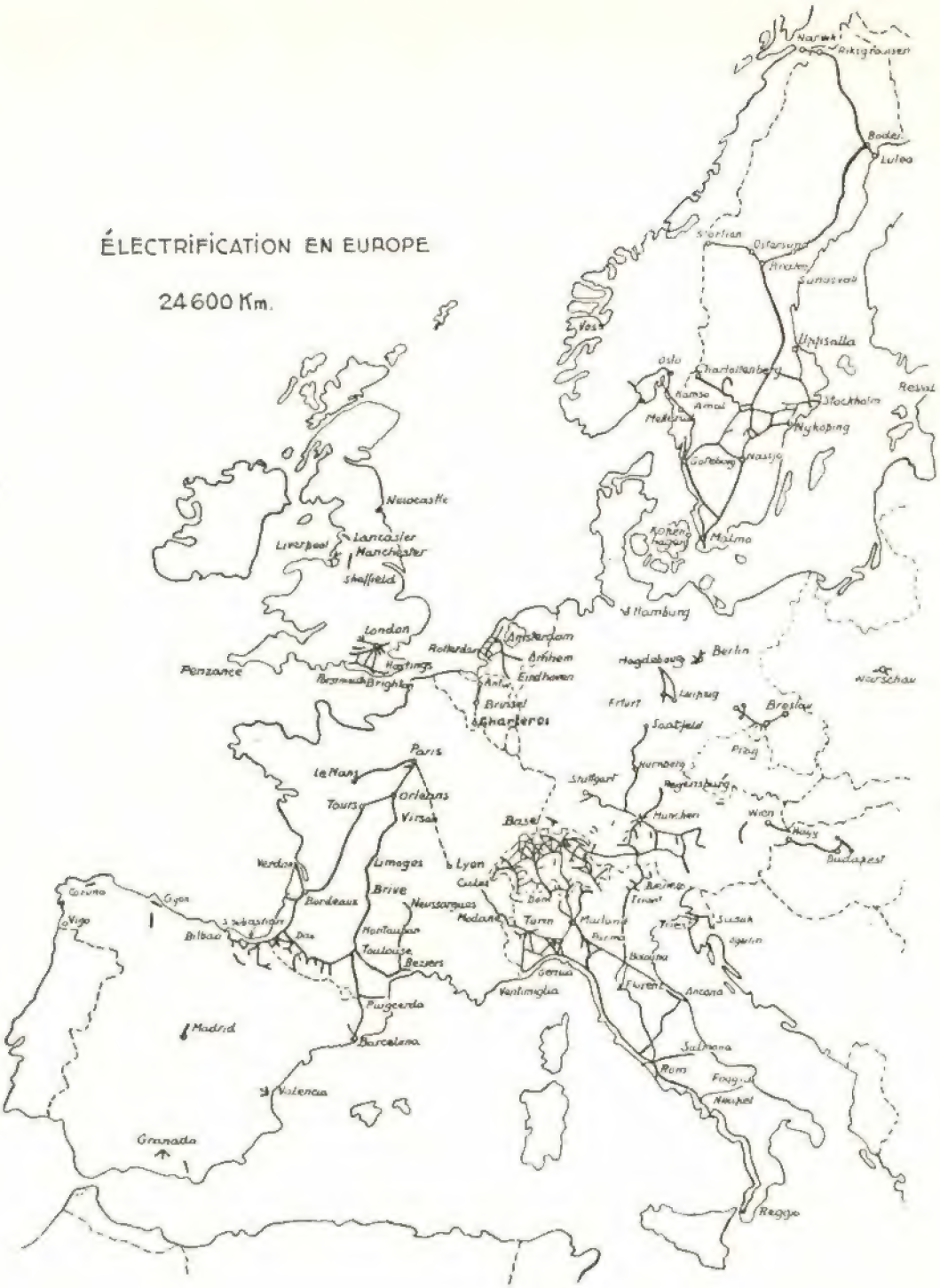


Fig. 1

mais de 60 % as possibilidades actuais da produção, ou seja aproximadamente 600 milhões de kWh;

2.º — As linhas que podem e devem ser imediatamente electrificadas precisarão, para assegurar um serviço muito superior ao actual, de uns escassos 80 a 100 milhões de kWh, apenas tanto como daqui a meia dúzia de anos consumirão os fogões de cozinha na cidade do Porto.

3.º — Porque parte importante deste con-

sumo se realiza sem sobrecarregar centrais, linhas e subestações da rede geral de energia.

Quer isto dizer que a tracção eléctrica é um óptimo mas pequeno consumidor de electricidade, e por isso mesmo não é problema entre nós como o não é em qualquer parte o fornecimento de energia para a tracção.

Na Suíça, com todos os Caminhos de Ferro electrificados, o seu consumo de energia não vai além de 12 % do consumo nacional; na França não ultrapassa 7 %, na Bélgica com o programa completo não atingirá 10 %.

O mesmo sucede na Suécia e na Itália.

B) — A segunda dúvida resulta da incógnita que ainda é o preço da energia para a tracção eléctrica.

Com efeito, o êxito duma electrificação dependerá em larga escala da relação que possa existir entre o preço da energia eléctrica e o preço do carvão.

A tracção eléctrica aqui como em toda a parte precisa e merece um preço baixo da energia.

Precisa para tornar rendosa a substituição do tipo de tracção, merece porque é um bom utilizador (4 a 5.000 horas anuais), cujas pontas se situam sempre fora das horas de carga máxima da rede geral de energia onde predomina quase sempre a carga industrial.

Antes de prosseguir, vou contar uma anedota referente à fixação de preços de energia eléctrica para a tracção:

Diz-se que na nossa vizinha Espanha, quando se tratou de discutir o preço da energia a fornecer à linha Madrid-Avila, os representantes da produção, que ali é uma actividade privada, foram convocados para uma reunião presidida por um alto funcionário militar que prestava serviço nos Caminhos de Ferro.

A dita reunião decorreu no melhor dos ambientes e todos animados do melhor espírito de colaboração porque, descuidadamente, quando o referido funcionário indicou o preço por que devia ser fornecida a energia, puxou do revólver e pô-lo em cima da mesa, perguntando a seguir com toda a inocência se todos estavam de acordo.

A resposta foi afirmativa por unanimidade.

É claro que a anedota é uma charge carregada de uma realidade possível.

No nosso caso não é usual nem é preciso empregar tais processos, e nem mesmo é necessária a publicação de qualquer outro diploma, pois as leis que existem permitem ao Governo, se ele o quiser, pôr à disposição da tracção eléctrica a energia precisa a preço apropriado.

C) — A última dúvida resulta da incerteza sobre a conveniência de inverter tão grandes capitais como o que a electrificação exige, quando com reduzidos investimentos (emprego da tracção Diesel) se poderiam já obter melhorias notáveis e substanciais economias.

Ao pensar-se assim esquece-se o interesse basilar de utilizar energia nacional para efectuarmos grande parte dos nossos transportes, esquece-se que as meias soluções não resolvem os problemas, e que Portugal se situa na Europa e não na América do Norte.

A tracção Diesel é um estupendo complemento de uma electrificação, é uma rendosa substituição da tracção a vapor, quando o tráfego não justifica a electrificação, é o método talvez mais económico de executar as manobras em qualquer gare, mas não pode ser em Portugal como o não é em qualquer país da Europa a base do sistema de tracção duma rede ferroviária.

O que electrificar

Em última análise, a escolha das linhas a electrificar é uma solução de compromisso e, portanto, difícil de estabelecer.

Qualitativamente, não há hoje em dia hesitação na escolha — devem ser electrificadas todas as linhas de tráfego intenso.

Quantitativamente, o caso muda de figura

— e para fixar a extensão de um programa de electrificação, há que sopesar com cuidado o valor dos objectivos a atingir, em face da despesa a efectuar, pois o «senão» da bela obra, que é electrificar um comboio, é o enorme investimento de capital que exige.

Para não alongarmos muito a matéria, condensam-se em 3 os objectivos a atingir no nosso caso:

1.º objectivo — Reduzir a importação de combustíveis pela utilização dos recursos nacionais, ajudando desta maneira a equilibrar a nossa balança de pagamentos.

2.º objectivo — Realizar economias de exploração, procurando assim opor uma barreira eficaz à constante subida do preço de custo do transporte, e fomentar receitas que ajudem a equilibrar o balanço da exploração ferroviária.

3.º objectivo — Resolver problemas técnicos da exploração e contribuir para que o usuário, seja ele passageiro ou ferroviário, possa viver uma vida melhor.

Julgo que todos ou quase todos os objectivos a atingir ou atingidos pela electrificação dos Caminhos de Ferro podem ser compreendidos directa ou indirectamente nestes que acabam de referir-se.

O primeiro objectivo aconselha no nosso caso um amplo programa de electrificação, porque se pode dizer que todo o combustível hoje usado é importado.

O segundo objectivo na sua primeira parte é uma limitação, que obriga a não electrificar mais que as linhas ou troços de linhas onde é muito intenso o tráfego, e os complementos imprescindíveis, embora de tráfego menos intenso, que originem importantes economias de exploração, independentes das de combustíveis.

Antes de prosseguir e para melhor elucidação, expliquemos, com a ajuda de um diagrama, o que acabámos de expor:

As leis de custo do transporte com 3 tipos de tracção mais usuais: tracção eléctrica, tracção Diesel e tracção a vapor, estão qualitativamente representadas na fig. 2.

Ela indica que abaixo de um tráfego mínimo T_0 o tipo de tracção mais económico é a tracção a vapor, por ser a que exige menor despesa de estabelecimento.

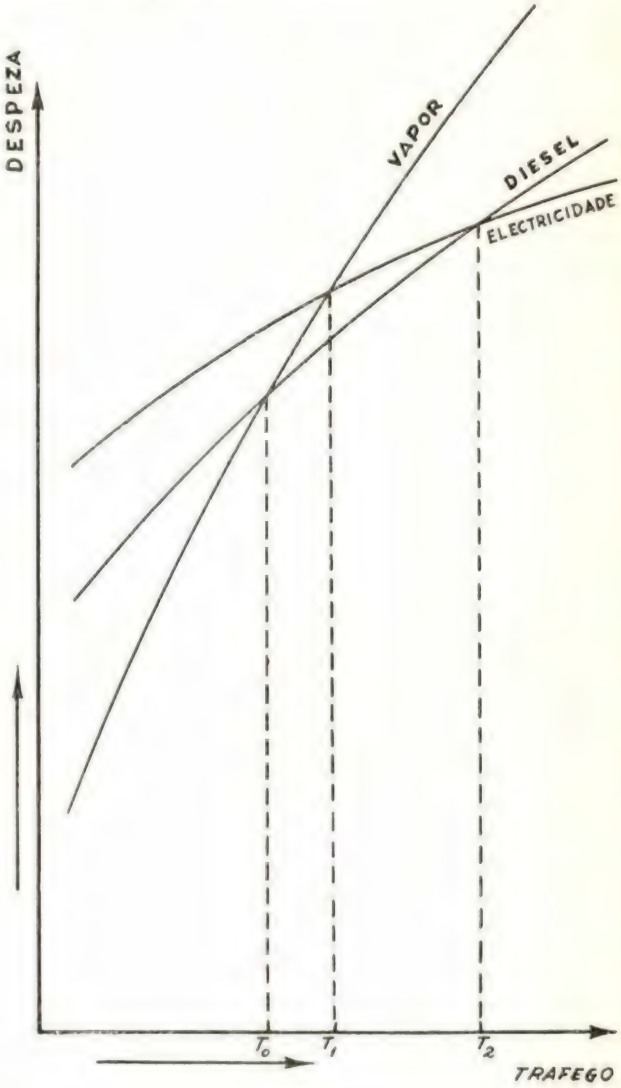


Fig. 2

Uma locomotiva Diesel custa duas vezes mais, pelo menos, que uma locomotiva a vapor.

Acima do tráfego T_0 a tracção Diesel apresenta economias em relação à tracção a vapor, porque já é possível melhorar a utilização do 1.º Estabelecimento.

Acima do tráfego T_1 superior a T_0 a tracção eléctrica pode substituir a tracção a vapor, sendo todavia mais económica a tracção Diesel até à intensidade de tráfego T_2.

Acima desta, o sistema mais económico é, incontestàvelmente, a tracção eléctrica.

É claro que se na rede ferroviária nacional não houvesse linhas de tráfego igual ou superior a T_2, o sistema de tracção mais económico seria o Diesel, mas com prejuízo total do primeiro objectivo — reduzir importações e viver sobre os recursos nacionais.

Veremos adiante que, apesar de ser pouco intenso o tráfego da rede ferroviária do País, existem alguns troços que justificam a electrificação e que ligados entre si permitirão realizar economias substanciais de combustíveis estrangeiros, de despesas de exploração, fomentarão notável aumento de receitas e resolverão problemas técnicos da exploração melhor do que com qualquer outro processo de tracção, constituindo no fim de contas uma das grandes obras de fomento nacional, que o País tanto carece de levar a efeito.

Voltemos ainda atrás aos objectivos que referimos.

Com referência à segunda parte do objectivo número dois a tracção eléctrica permitindo, em condições económicas óptimas, aumentar a velocidade, a frequência e a comodidade das circulações, realiza as condições ideais de execução de um serviço de arrabalde e desenvolve em proporções enormes o respectivo tráfego.

Como exemplo citamos o que se passa na linha de Cascais e compare-se com o que acontece na linha de Sintra.

Lá fora os exemplos são mais frisantes ainda, chegando-se a aumentos de tráfego da ordem de 70 % como aconteceu em algumas linhas holandesas.

No serviço da grande linha pode, evidentemente, aumentar-se o tráfego com a tracção eléctrica, desviando para lá tráfego de outras linhas ou de estrada que hoje se faz à custa de pesado tributo ao estrangeiro.

Digamos ainda umas breves palavras sobre o 3.º objectivo enumerado.

Os principais problemas técnicos da exploração apresentam-se junto das grandes cidades, onde a intensidade de tráfego é grande e as instalações geralmente acanhadas, onde existem túneis cheios de fumo, onde é proibitivo econòmicamente ampliar instalações para satisfazer racionalmente as exigências do serviço.

Escusado será dizer que é justamente nestas zonas onde os usuários, sejam passageiros ou ferroviários, podem colher mais proveitos.

Como passageiros o serviço asseiado, rápido e frequente permitir-lhes-á viver mais económica e còmodamente, afastados dos grandes centros, permitindo-lhes gozar a vida ao ar livre e vice-versa permitirá aos que permanecem afastados dos centros usufruir as vantagens sociais que estes podem oferecer.

Como ferroviários terão a sua tarefa simplificada, limpa e menos penosa, com benefício portanto da sua saúde e do seu bem estar.

Depois do que acabámos de dizer, é fácil justificar por que se devem electrificar as seguintes linhas da rede ferroviária nacional (fig. 3):

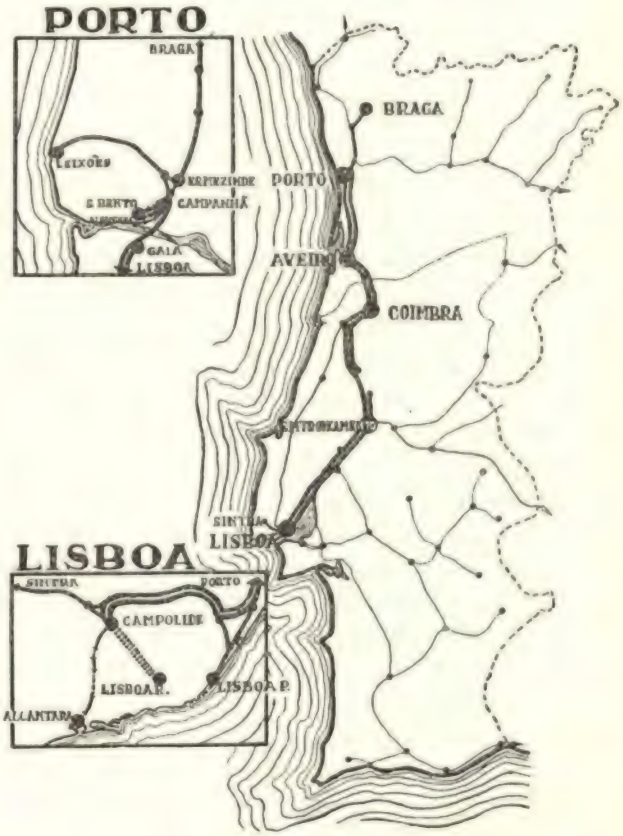


Fig. 3

Arredores de Lisboa
Arredores do Porto
Linha Lisboa-Porto,

o que representa 460 km de percurso, aproximadamente.

Com efeito, este programa constitui um conjunto que reune as condições indispensáveis *mínimas* para o êxito da obra.

Primeiro: — Satisfaz às necessidades técnicas da exploração pela electrificação junto das duas grandes cidades do País;

Segundo: — Realizando a ligação destes dois centros, toma amplitude suficiente para dar lugar à obtenção de substanciais economias de exploração independentes da de combustíveis;

Terceiro: — Representando este programa apenas 13 % da rede ferroviária Nacional, nele se efectua 37 % do percurso quilométrico, se reboca 45 % do tráfego e nele se gasta 45 % dos combustíveis utilizados nos Caminhos de Ferro.

Não podemos deixar de salientar esta circunstância tão favorável.

Com 13 % da rede ferroviária electrificada, o País teria assegurado com energia nacional quase 50 % do tráfego dos Caminhos de Ferro e pouparia a importação de metade dos combustíveis estrangeiros que eles precisam. Isto para o nível de tráfego do ano de 1947, nível igual ao de 1949.

Apesar de tão favoráveis condições é legítima ainda a dúvida se a electrificação, meramente sob o ponto de vista ferroviário, será a operação de reapetrechamento mais aconselhada, isto é, se todas as linhas enunciadas estão nas condições de se considerarem de tráfego superior ao valor T_2 a que no princípio desta palestra fizemos referência.

Para estudar este ponto servimo-nos da fig. 4, onde se desenhou em T. K. B. R. por km e por ano a densidade de tráfego nos troços de linha, mais característicos, do programa.

O seu exame mostra uma intensidade muito mais forte junto de Lisboa e Porto que no intervalo entre as duas cidades.

Igualmente mostra ser a Zona a norte de Campanhã a de menor intensidade de tráfego.

A média geral para este conjunto é de 3,5 milhões de T. K. B. R. por km e por ano — para o ano de 1949.

Parece, portanto, que limitando um pouco o programa, sobretudo desistindo das linhas Ermezinde-Nine-Braga, Ermezinde e Contumil-Leixões, ramal da Alfândega e até do troço Entroncamento-Aveiro da linha do Norte, se melhorariam as condições de rendimento da restante electrificação.

Não é assim; porque tal redução impediria de obter todas as economias que a tracção eléctrica proporciona, tendo a experiência demonstrado serem tão ou mais importantes que as de combustível as restantes, o que nos leva a dizer que ficaria, mesmo nas zonas de tráfego mais intenso, comprometido o resultado final.

Com efeito, a locomotiva que rebocasse nm comboio ao Entroncamento, teria de ali ficar quase sempre com grande intervalo para nova utilização e teria de se ter outra que levasse o mesmo comboio do Entroncamento a Aveiro para ali se repetir a mesma cena.

Deixaria de se economizar no efectivo de locomotivas, no efectivo de pessoal, nas despesas de conservação, de manutenção, etc.; numa palavra ficaria comprometido o êxito da obra.

O mesmo se pode dizer ao Norte do Rio Douro, porque a electrificação das linhas de tráfego menos intenso justifica-se pela uniformização da exploração e Porto-Braga, dada a densidade de população da zona servida, ser susceptível de vir a desenvolver tráfego que justificará amplamente a sua electrificação. Ponham lá comboios frequentes, velozes e limpos e hão-de ver.

Mas tudo isto ainda não responde à questão posta sobre a densidade do tráfego.

Para responder desenharam-se na fig. 4 as intensidades médias de tráfego nos principais países da Europa.

A Espanha, que considera «malgré tout» um sucesso as suas electrificações, electri-

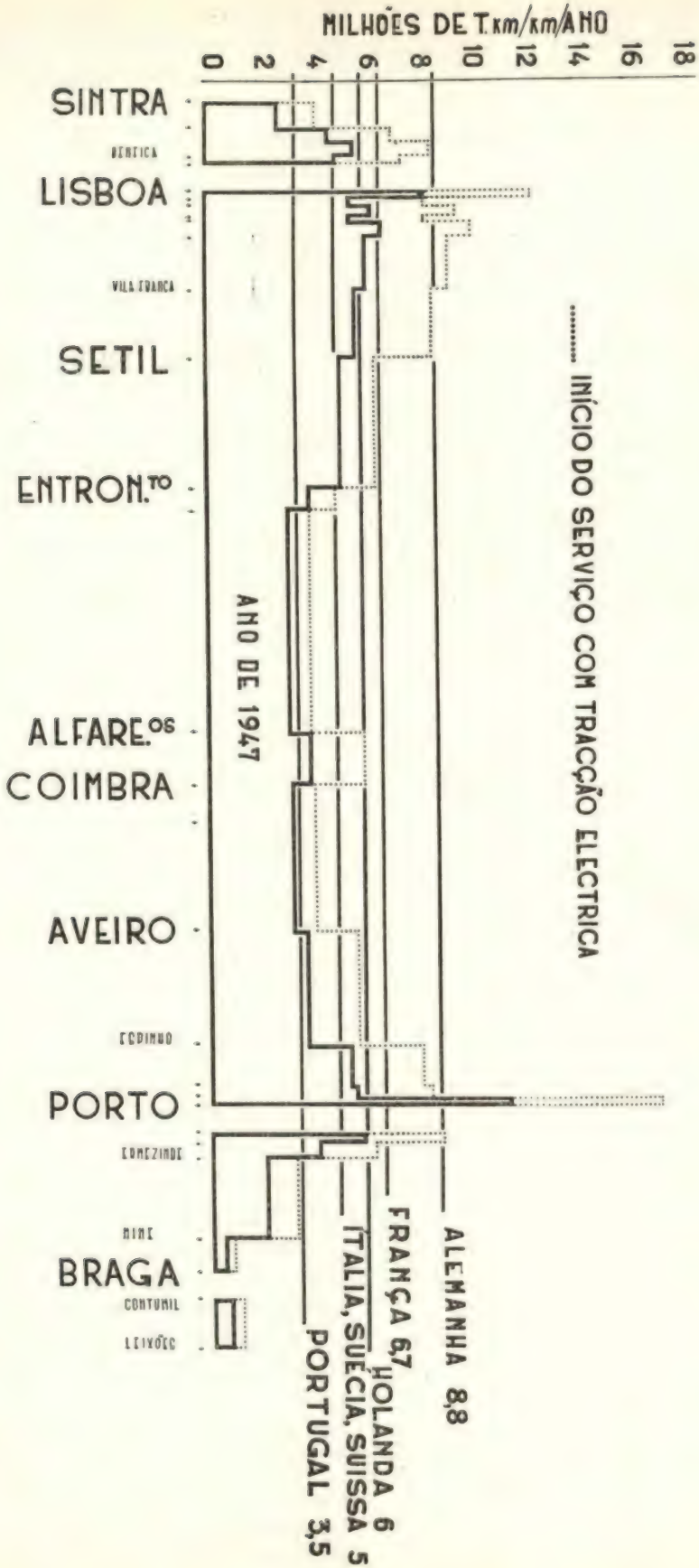

MILHÕES DE T.km/km/ANO
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
SINTRA
LISBOA
SETIL
ENTRON.TO
ALFARE.OS
COIMBRA
AVEIRO
PORTO
BRAGA
ANO DE 1947
INÍCIO DO SERVIÇO COM TRACÇÃO ELECTRICA
ALEMANHA 8,8
FRANÇA 6,7
HOLANDA 6
ITALIA, SUECIA, SUISSA 5
PORTUGAL 3,5

Fig. 4

fica com uma densidade média de 2,8 a 3 milhões de T. K. B. R.

O valor de 4,8 a 5 é obtido na Suíça, na Suécia, na Itália, onde as electrificações são o êxito mais notável do século em matéria económica de transportes.

Parece-me conveniente fundamentar esta opinião que pode não ser geral.

Na Suíça, é desnecessário dizer mais que pràticamente todos os Caminhos de Ferro estão electrificados. Isto, segundo a opinião deles, impediu o colapso da nação durante a passada guerra.

Na Itália, o Engenheiro Zatoni, chefe da Tracção da rede electrificada apresentava, ao Congresso de Reconstrução Industrial havido depois da guerra, uma comunicação na qual indicava as necessidades futuras da ampliação da tracção eléctrica, ilustrando-a com o seguinte gráfico (fig. 5).

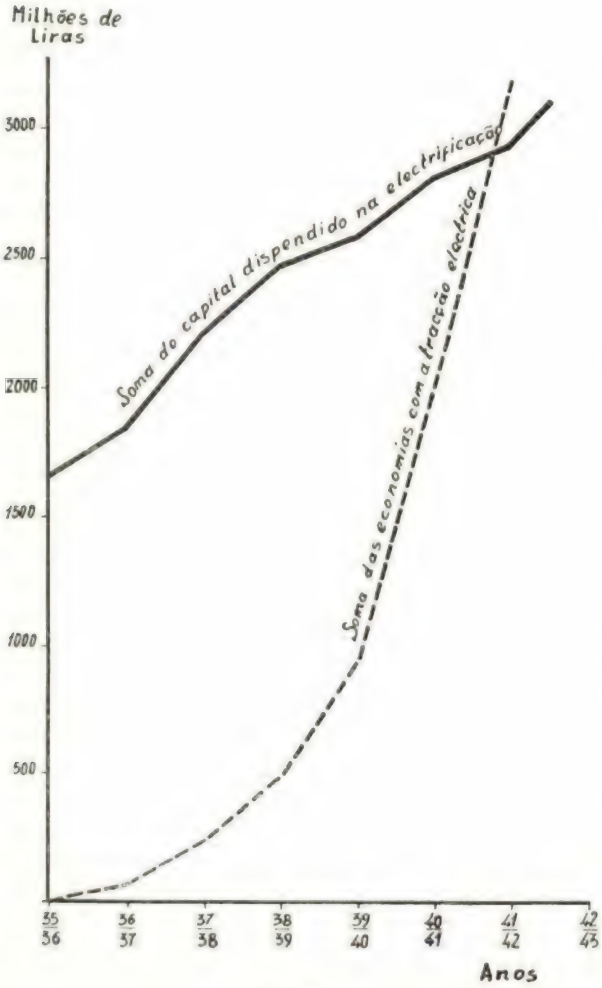


Fig. 5

O seu exame mostra que nos exercícios de 35/36 a 41/42 as economias obtidas com a tracção eléctrica pagaram toda a despesa de electrificação feita ate àquela data, ou sejam quase 3 biliões de liras para os 5.500 km de linhas electrificadas.

Os Caminhos de Ferro Suecos, comemorando o trigésimo aniversário do início da sua electrificação ferroviária, publicaram em 1946 um pequeno opúsculo donde extraí a fig. 6.

ECONOMIAS DE EXPLORAÇÃO

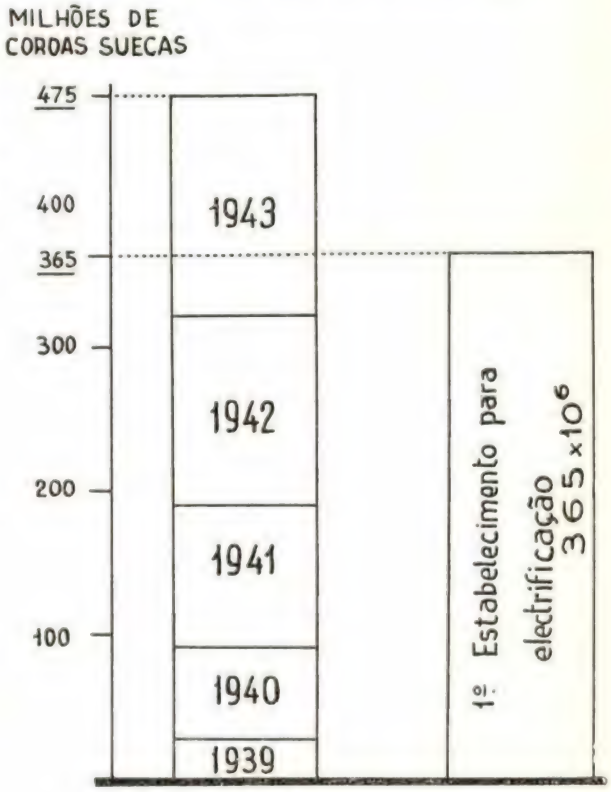


Fig. 6

A soma das economias nos cinco anos em questão, atingindo 475 milhões de coroas suecas, ultrapassou em 110 milhões a soma de todo o capital empregado para realizar a electrificação dos seus 4.700 km de linhas.

O valor 5, como se vê na figura, é atingido pelo tráfego de 1947 em muitos troços, e com o serviço a vapor.

Com o serviço eléctrico, para o qual foram calculadas estas médias estrangeiras, o caso português situar-se-á quase desde o início da exploração em valores iguais senão superiores a estes, conforme se indicou na figura.

A seguir vem o caso da Holanda, da França e da Alemanha.

Não se apontou o da Bélgica e da Inglaterra por serem de média mais elevada ainda.

Depois desta comparação já poderemos começar a ter a nossa dúvida um pouco esclarecida, mas isto não é tudo.

Com efeito, esta indicação de tráfego não é bastante para concretizar o assunto, porque ela não tem em conta a forma como ele é assegurado, isto é, a despesa que se efectua para o rebocar.

Verificámos pela fig. 4 que na linha Porto-Lisboa o troço Entroncamento-Alfarelos é o de menor tráfego, no entanto é o troço mais acidentado da linha, onde, portanto, se despende mais combustível por unidade transportada e onde há limitações de carga por falta de potência de muito do material tractor ainda em serviço.

Para ter em conta a intensidade do tráfego, o perfil da linha, a eficácia do material tractor, a velocidade de circulação, etc., o grande mestre destas coisas, que é Parodi, há pouco tempo eleito membro da Academia das Ciências, estabeleceu um índice que hoje é quase universalmente usado, o do consumo linear de combustível ou energia eléctrica, por km de linha e por ano.

Ora, para o tráfego que se realizou em 1949 nas linhas do programa que se defende, o consumo de carvão atingiu qualquer coisa próximo de 150.000 T., o que representa uma densidade de consumo de quase 330 T. por km e por ano para os 460 km de percursos que o programa fixa.

A densidade média que se regista é superior à italiana, à do antigo Reseaux du Midi que iniciou a electrificação em França e muito acima da média sueca, onde algumas linhas descem a densidades de consumo da ordem de 125 toneladas.

Ao fim de 2 ou 3 anos de exploração o consumo de energia nas linhas do programa será da ordem dos 100 a 120 milhões de kWh, o que representará uma densidade de consumo da ordem de 220.000 a 260.000 kWh por km e por ano.

Esta densidade é superior à de muitas linhas electrificadas e é da ordem da média geral europeia de 1937 que foi de 220.000 kWh.

De 1937 para cá os preços do carvão subiram bastante mais que os preços da energia eléctrica, os salários subiram também acentuadamente e estas circunstâncias por favoráveis, aumentam o grau de certeza antecipada do êxito da electrificação.

Creio ter provado que o interesse do País é electrificar este mínimo de rede ferroviária e na restante utilizar a tracção mais económica, geralmente a Diesel.

Nós não temos em Portugal as minas do País de Gales nem os poços de petróleo do Texas, mas temos um rio que se chama Douro capaz de produzir alguns biliões de kWh.

Como electrificar

Seria este o capítulo talvez mais interessante para os novos engenheiros, mas sobre ele haveria tanta coisa a referir que o receio da extensão da palestra obriga-me a limitar a breves considerações a questão técnica mais importante a decidir quando se resolve electrificar uma linha: — A escolha do tipo de corrente a utilizar —.

Esta decisão é de importância capital, porque uma vez tomada e aplicada em electrificação de vulto não é financeiramente possível mudar de sistema.

É como a da bitola ou largura de via. Ninguém pensa em mudá-la na Península para a identificar com a normal da Europa.

É por isso que a França continua, apesar de tudo, a electrificar em corrente contínua 1.500 Volts e a Suíça a construir centrais e linhas especiais para os seus comboios.

Se até há pouco tempo e talvez ainda nesta data para o nosso caso, não havia razões para grandes hesitações, hoje em dia volta a reinar nos espíritos a incerteza, consequência do constante progresso das diferentes técnicas.

Verdadeiramente generalizados e consagrados por larga experiência encontram-se em uso os dois sistemas rivais de longa data:

Os sistemas monofásicos de baixa frequência e os sistemas de corrente contínua.

Sistema monofásico de baixa frequência

É talvez o mais espalhado na Europa, sendo adoptado na Suíça, na Alemanha, na Áustria, na Suécia e na Noruega.

Tem enormes vantagens o seu emprego, porque permite a adopção de tensões elevadas na catenária, simplificando em extremo, na variante Suíça, as subestações que, além de afastadas, se limitam a ser um simples posto de transformação.

Estas propriedades reduzem o custo das instalações fixas do Caminho de Ferro, facto de suma importância porque elas representam uma forte percentagem do custo total duma electrificação.

O sistema, na variante Suíça, tem um gravíssimo contra e tão grave que o fez abandonar nos últimos anos em quase todos os países que ainda não estavam obrigados ao tipo por anteriores electrificações.

Esse contra é o de exigir centrais próprias ou grupos geradores especializados e as correspondentes linhas de transporte, em virtude da baixa frequência adoptada: 16 2 3 períodos, ou seja, um terço da frequência normal.

Origina-se com este tipo de electrificação uma duplicação de centrais e linhas de transporte, inconveniente econòmicamente tão grave que destrói as vantagens próprias do sistema.

No sentido de fugir a este contra, os suecos, que iniciaram mais tarde a sua electrificação ferroviária, não hesitaram em preferir a complicação, o encarecimento e a baixa de rendimento das suas subestações pelo emprego de motores geradores, para utilizar as centrais e rede geral de transporte do País para a alimentação da rede ferroviária.

Os esquemas (figuras 7 e 8) mostram as diferenças das duas variantes: a suíça e a sueca.

Com o intuito de utilizar igualmente a rede geral de energia para abastecimento da tracção eléctrica o sistema de corrente contínua foi adoptado primeiramente com a tensão de 1.500 Volts e posteriormente, desde a entrada em serviço corrente do convertidor de vapor de mercúrio, com a tensão de 3.000 Volts.

SISTEMA MONOFÁSICO
Baixa Frequência — 16 2/3 — Variante Suíça

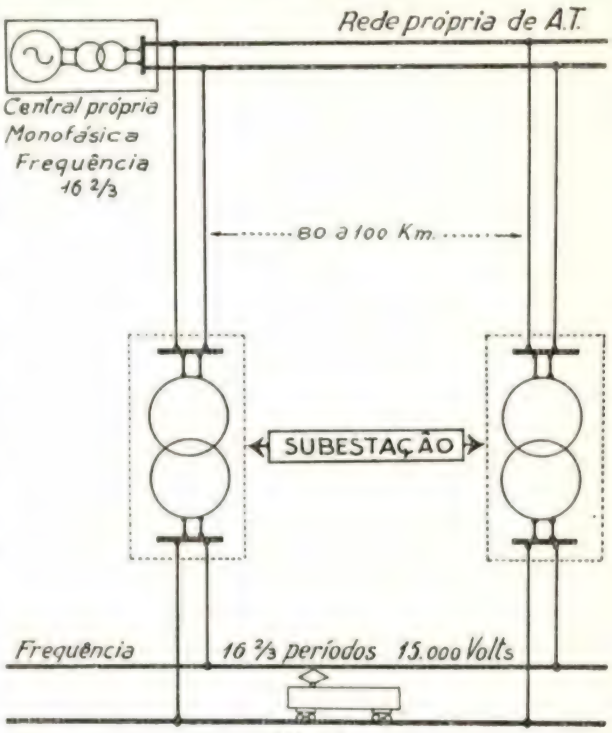


Fig. 7

SISTEMA MONOFÁSICO
Baixa Frequência — 16 2/3 — Variante Suécia

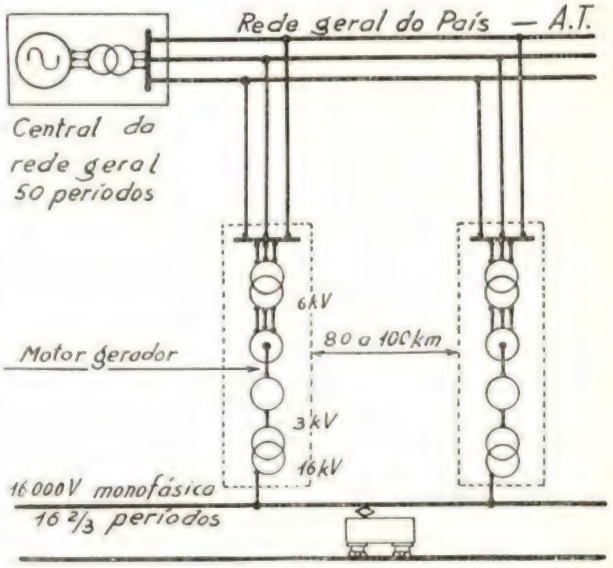


Fig. 8

É claro que, mesmo com esta última tensão, as despesas nas instalação fixas da tracção eléctrica são muito mais elevadas do que com o sistema monofásico, mas as subestações de c. c. são hoje em dia de

complicação e preço aceitáveis, e essencialmente de óptimo rendimento.

O esquema (figura 9) mostra o princípio do sistema.

SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA

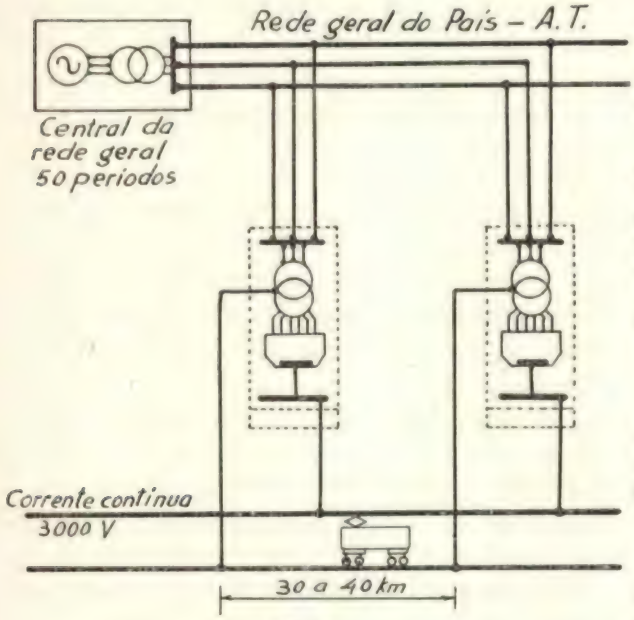


Fig. 9

Não vale a pena entrar em detalhes sobre os dois tipos de tracção que uma larga e longa experiência consagraram, bastando dizer que nas últimas realizações o sistema de corrente contínua 3.000 Volts é preferido em quase toda a parte onde não existia forte condicionamento por resoluções anteriores.

Escapam a esta regra as últimas electrificações inglesas e holandesas que adoptaram ainda os 1.500 Volts.

As grandes preocupações técnicas em matéria de tracção eléctrica têm como alvo principal reduzir as despesas de primeiro estabelecimento, sobretudo no que diz respeito às instalações fixas, a fim de se estender o campo de aplicação da tracção eléctrica a linhas de tráfego menos intenso.

Recentemente duas tentativas interessantes se encontram em marcha e se a prática as vier confirmar, qualquer delas pode produzir uma verdadeira revolução nos limites de aplicação da tracção eléctrica pela substancial redução de despesas de 1.º estabelecimento que podem originar.

A primeira que vou referir é Europeia, a segunda Americana.

Em 1936 o Reichbahn iniciou a experiência, numa pequena linha da região da Floresta Negra, da tracção monofásica de frequência normal, 50 períodos.

Entre os tipos de locomotivas experimentados (4) havia um em que os motores série eram alimentados directamente à frequência normal.

Até então o motor série monofásico de 50 períodos para a tracção eléctrica era considerado irrealizável e ainda não há muito tempo, uns três anos, o chefe já falecido do departamento de tracção dum dos grandes construtores europeus me dizia que tal construção era um trabalho «contre nature».

A zona alemã em questão ficou sob ocupação francesa e os técnicos deste país interessaram-se vivamente pelo sistema em experiência.

Especialmente sob o impulso do actual director-geral, os Caminhos de Ferro franceses retomaram os estudos, de colaboração com alguns grandes fabricantes europeus, que parece terem conseguido já uma realização satisfatória do motor monofásico 50 períodos.

Simultâneamente outros problemas têm sido estudados e julga-se que estarão resolvidos, como o do desequilíbrio de cargas na rede geral, o das interferências nas comunicações telefónicas, etc.

Em virtude dos resultados conseguidos nos laboratórios e bancos de ensaio foi decidida oportunamente a electrificação de uma pequena linha com uns 50 km de extensão, a fim de se experimentar no serviço corrente o sistema e essencialmente o comportamento das locomotivas com o motor monofásico de frequência normal.

A tensão da catenária será de 23 kV, ou seja a mais alta até hoje empregada.

Reina grande espectativa em volta dos resultados de esta experiência que ainda se deve iniciar no ano em curso.

Se a prática confirmar as esperanças que nela se depositam, terá sido dado um passo decisivo para utilizar todas as vantagens da alta tensão na catenária sem os inconvenientes da baixa frequência.

O esquema (figura 10) mostra o princípio do sistema.

SISTEMA MONOFÁSICO
Frequência 50 períodos

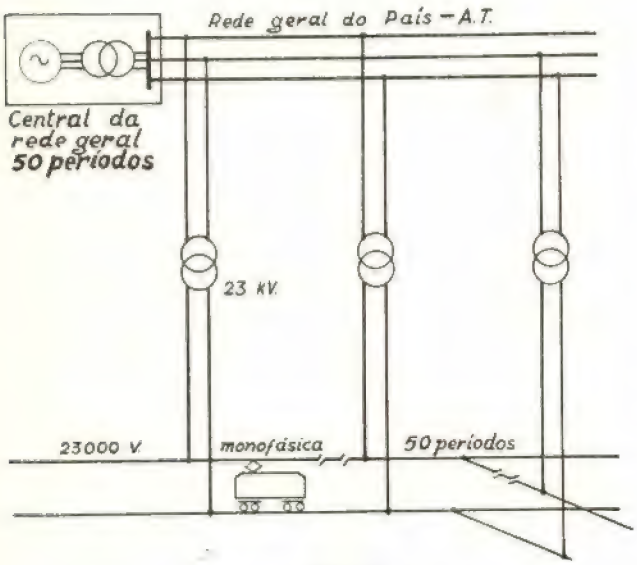


Fig. 10

É de notar nesse esquema, uma pequena complicação na catenária com o fim de atenuar o desequilíbrio na rede geral da carga monofásica das subestações.

Para bem compreender a diferença entre esta tentativa europeia e a tentativa americana de que vamos falar, convém dizer algumas palavras mais sobre o motor série monofásico.

O principal problema a resolver num motor de tracção, seja qual for o tipo de corrente a empregar, é da comutação. Tem sido um árduo problema em corrente contínua e maior o tem sido em corrente alternada.

No motor monofásico de baixa frequência, o problema da comutação embora satisfatòriamente resolvido, não atingiu a perfeição da corrente contínua.

Em média, no serviço normal, pode dizer-se que o percurso sem grande revisão de um colector de motor monofásico anda pelos 500.000 km, conseguindo os de corrente contínua percursos da ordem de um milhão de km.

Com o aumento da frequência aumentam as dificuldades da comutação, o que leva os construtores a aumentar o número de polos e, portanto, o número de linhas de escovas do colector, e apesar de todos os artifícios na experiência alemã, os colectores necessitavam de uma revisão todos os 70 a 80.000 km.

Por um distinto professor universitário foi-me contada esta anedota de sabor inglês:

Perguntados engenheiros daquela nacionalidade sobre o que pensavam da tracção monofásica 50 períodos, eles responderam que o assunto não era interessante porque as locomotivas gastavam mais «carvão» que as máquinas a vapor.

A anedota ilustra apenas uma das grandes dificuldades, que alguns julgam vencidas da tracção monofásica de frequência normal.

Parece, depois do que brevemente deixámos esboçado, que se se encontrasse uma solução prática e económica permitindo o emprego do eficientíssimo motor série de corrente contínua e, ao mesmo tempo, as altas tensões na catenária alimentada pela rede geral de energia através de subestações, simples postos de transformação, estaria encontrada uma boa solução.

É neste sentido que um conjunto de 4 poderosas empresas americanas trabalham.

Desde Outubro de 1949 e após demoradas experiências em laboratórios e banco de ensaios encontra-se em serviço experimental o primeiro veículo alimentado em A. T. com corrente monofásica que rectificada num «ignitron» montado no veículo alimenta os motores série de corrente contínua de construção normalizada.

Os técnicos americanos depositam sólidas esperanças na extensão da electrificação dos seus Caminhos de Ferro com o novo sistema que elimina os inconvenientes da baixa frequência permitindo uma alimentação pela rede geral de energia, com subestações muito afastadas e catenárias leves.

Para se fazer ideia do que isto representa dão-se algumas indicações gerais de valores normais.

Em corrente monofásica de baixa frequência a tensão usual na Europa é da ordem de 15 kV, o que permite um afastamento médio de 80 a 100 km para as

subestações e uma secção de cobre na catenária da ordem de 100 mm².

Com a frequência normal, isto é, com os 50 períodos, evitam-se as centrais e redes especiais ou o emprego de subestações caras e de baixo rendimento.

Nas electrificações com corrente contínua a tensão de 1.500 Volts limita o afastamento das subestações a distâncias da ordem de 15 a 20 km (quando se siga o critério de concentração de potência) e secções de cobre na catenária da ordem de 600 mm².

Na linha de Lyon os franceses vão para valores de quase 800 mm².

Com os 3.000 Volts o afastamento das subestações vai para a ordem dos 30 a 40 km e com secções de cobre na catenária da ordem de 300 mm².

Julgo que ainda vale a pena, em lugar de lhes dizer o que se tem realizado em material tractor, onde as velocidades tendem para os valores máximos de 180 km/hora, referir um critério italiano tendente a reduzir as despesas de 1.º Estabelecimento sem recorrer a soluções tão radicais como estas que apontamos.

Esse critério é o de aperfeiçoar a construção e funcionamento de todos os auxiliares de uma locomotiva ou automotora eléctrica, de forma que possam permitir-se quedas de tensão muito grandes na catenária, chegando-se a admitir tensões de alimentação dos veículos compreendidas entre um mínimo de 2.000 Volts e um máximo de 3.600.

Com estas permissas as subestações duma electrificação com corrente contínua a 3.600 Volts podem afastar-se a distâncias da ordem dos 80 km e a secção de cobre da catenária ser mais reduzida do que a normalizada. Que é possível circular em tais condições verifiquei-o na Itália em 1947, viajando num comboio cuja locomotiva foi alimentada em parte do percurso a metade da tensão normal, 1.500 Volts, porque a alimentação da catenária se fazia por duas subestações afastadas de 120 km, em virtude de não estarem ainda reconstruídas duas subestações intermédias.

Para terminar, o que me pareceu útil dizer-vos nesta palestra, vamos passar ao último capítulo em que ela foi dividida.

Reflexões finais

Ouvi em Itália e França aos técnicos ferroviários dos dois países a seguinte doutrina em matéria económica de electrificação ferroviária:

«Não vale a pena fazer apurado balanço económico da electrificação porque a experiência provou que todo o empreendimento tècnicamente recomendável e financeiramente possível tem sempre assegurada a sua economia e deve ser levado a cabo quanto antes».

O exame que fizemos ao caso das linhas portuguesas mostra, em comparação com as realizações europeias, que é tècnicamente recomendável a sua electrificação.

É mais difícil para mim demonstrar com igual precisão que a obra é financeiramente possível.

O custo duma electrificação ferroviária pode variar em largas proporções, já pelas permissas de serviço em que ela assente, já pelos critérios que podem seguir-se na imputação de despesas que quase sempre se efectuam quando se faz uma electrificação.

Os Caminhos de Ferro Portugueses, em contacto com um grupo de construtores britânicos, estudaram, nas suas linhas gerais, um ante-projecto que abrangia os percursos que nesta palestra se referiram.

Esse ante-projecto assentou em permissas que procuravam, desde o início, realizar a nova exploração com todos os requintes da técnica e estabelecendo um equipamento fixo e circulante para fazer face a todo o incremento de tráfego que se podia prever.

Concretizemos um pouco.

Com a instalação prevista era possível fazer face a um incremento de tráfego da ordem de 200 % no serviço suburbano e 100 % no serviço da grande linha, em relação ao que se verificou em 1947.

Todo o tráfego de passageiros no serviço suburbano, e no serviço rápido da grande linha era assegurado com unidades múlti-

plas automotoras que permitiam velocidades comerciais no serviço de arrabalde, efectuando todas as paragens do percurso, da ordem de 40 a 50 km/hora e no serviço rápido da grande linha valores da ordem dos 100 km/hora, com velocidades máximas de 140, permitindo ir de Lisboa ao Porto em 3 horas e meia.

As locomotivas destinavam-se apenas ao serviço de mercadorias e ao de passageiros lento e pesado dos comboios correios e ónibus.

Previa-se a substituição total da actual sinalização, dotando todas as linhas com blok sistem luminoso e automático.

Previa-se a duplicação de vias, a supressão de passagens de nível, a remodelação e ampliação de algumas estações, etc.

Um ante-projecto obedecendo a tais directivas por ser muito bom tinha de ser dispendioso, independentemente de quaisquer outras razões que o tornassem caro.

A previsão de despesa para todos estes trabalhos foi orçada em 2 milhões de contos antes da desvalorização da libra e admitido um período de 6 anos para a sua execução.

É realmente uma cifra respeitável esta, mas o estudo económico do assunto mostrou que, mesmo em tais condições, o balanço da electrificação se podia considerar equilibrado, até porque nele pràticamente se não valorizara o incremento notável de receitas que era infalível.

Financeiramente, o dispêndio desta quantia em ritmo relativamente acelerado, talvez fosse de considerar superior às forças do País, que se encontra envolvido em obras de fomento da mesma magnitude para produzir e transportar electricidade.

É indispensável dizer aqui que a importância da obra não cabe nas forças da Empresa privada, que ainda são os Caminhos de Ferro em Portugal, porque estes de há muito estão arruinados pela falta de ajuda e protecção, pelo crescendo de imposições e sobretudo pela concorrência vitoriosa mas ruinosa para o País de tanto automóvel e camion.

Um dos males do século, mais ainda lá fora que entre nós, é a inflação irreprimível dos meios de transporte.

Como subsiste com força crescente a imperiosa e urgente necessidade de reduzir importações e viver sobre os recursos nacionais, primeiro objectivo duma electrificação em Portugal, e não podendo levar-se a efeito com todos os requintes da técnica a substituição do tipo de tracção, parece que o caminho a seguir está indicado: *fazer economias nos planos da obra, ampliar os prazos de execução,* reduzindo assim a valores mais consentâneos o ritmo e o quantitativo do investimento, mas nunca desistir ou esmorecer em decidir, iniciar e levar a final a electrificação.

Exemplifiquemos o nosso pensamento:

Os Caminhos de Ferro entre Lisboa e Porto andam hoje razoàvelmente e com segurança bastante com a sinalização que a linha tem e se logo de início não se montasse em toda a extensão o blok sistem nem por isso deixava de se fazer tracção eléctrica.

Era realmente flexível, vantajoso, elegante e rápido assegurar pràticamente todo o serviço de passageiros com unidades múltiplas automotoras, mas não as podendo comprar todas, mais algumas locomotivas eléctricas asseguraríam em bem melhores condições que a locomotiva a vapor, qualquer dos serviços, rebocando umas carruagens que já existem.

Se não era possível duplicar as vias em sincronismo com a electrificação, nem por isso deixaria de haver tracção electrica.

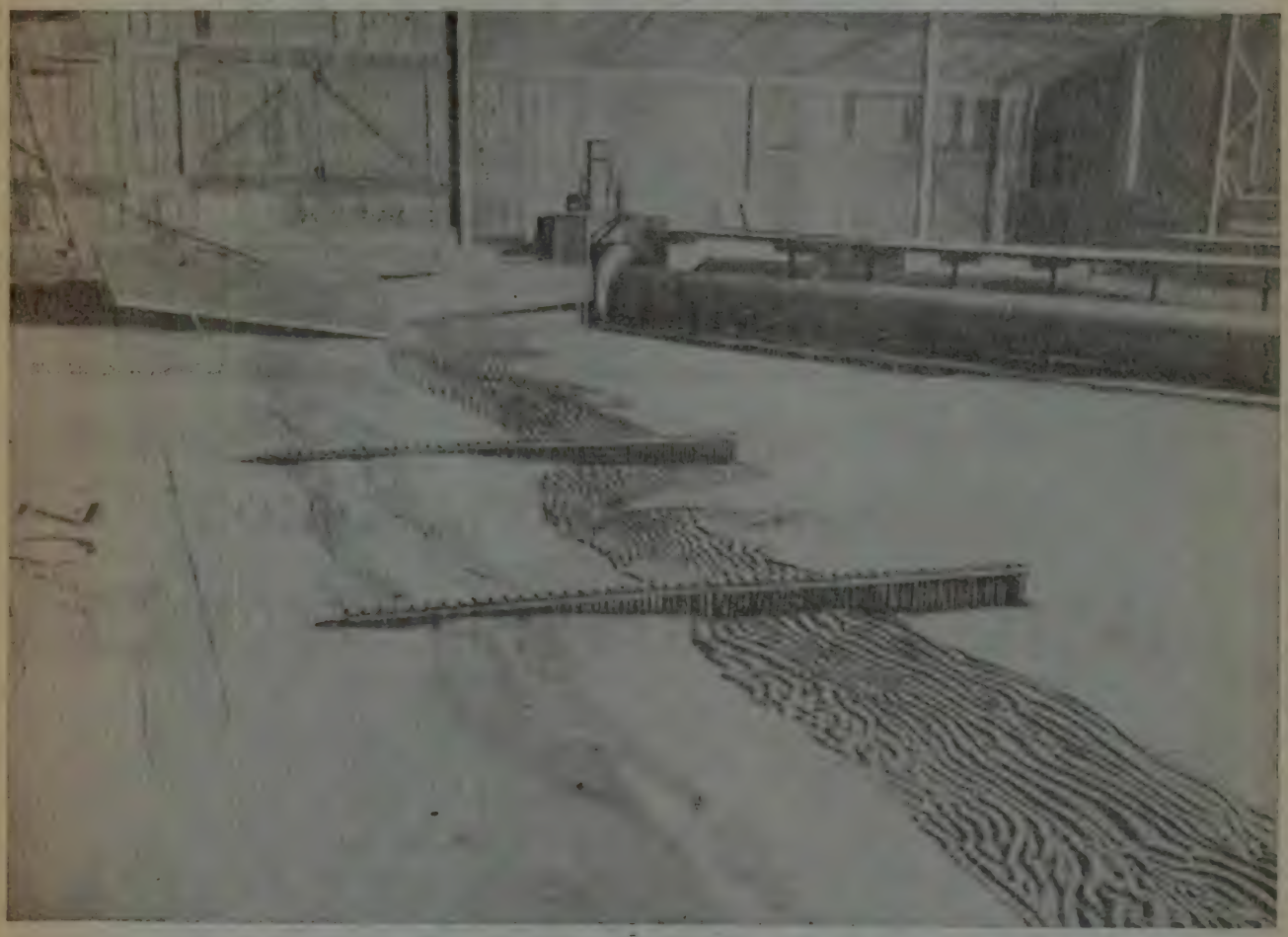
Com aplicação destas e doutras medidas a verba que impressiona de 2 milhões de contos podia ser reduzida a pouco mais de metade, e se agora alongarmos para 8 anos o período de execução, conclui-se que o esforço financeiro ao País, para fazer andar elèctricamente os comboios nas linhas citadas, obtendo a autonomia de transporte para 45 % do tráfego ferroviário, economizando metade dos combustíveis estrangeiros que os Caminhos de Ferro gastam no valor de 60 a 70 mil contos, realizando economias de exploração em pessoal e manutenção, conservação etc., da ordem de 25 mil

LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE

GRENOBLE

HIDRÁULICA FLUVIAL E MARÍTIMA — QUEDAS DE AGUA

Determinação económica das obras — Desassoreamentos
Aproveitamento dos rios — Eclusas
Utilização da energia das marés
Estudos de portos, de ancoradoiros — Docas secas
Protecção do litoral — Estabilidade das praias



Salinas de Giraud

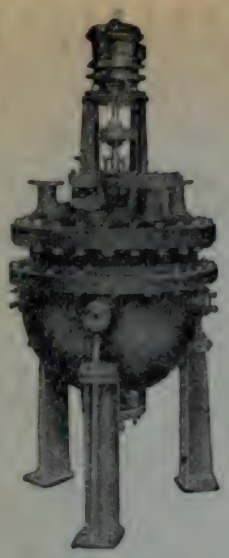
Modelo reduzido para o estudo da defesa da costa contra o mar

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
NA AMADORA

"NEYRPIC"

R. Vice-Almirante João António de Azevedo Coutinho
AMADORA Telef. VENDA NOVA 48



APARELHOS E EQUIPAMENTO PARA AS INDÚSTRIAS QUÍMICAS FARMACEUTICAS, ALIMENTARES, ETC., ETC. ...

MATERIAL EM FERRO ESMALTADO,
ESMALTE ESPECIAL RESISTENTE AOS ÁCIDOS.

— trituradores, evaporadores, autoclaves, monta-mostos, filtros, misturadores, cubas, tubagem especial, etc., etc. ...

RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAGEM,
TABULEIROS DE SECAGEM EM AÇO VIDRADO,
MATERIAL EM FERRO FUNDIDO.

— Cubas de ferro fundido especial até 20.000 litros.

MATERIAL EM FERRO FUNDIDO OU CHAPA,
REVESTIDO DE CAOUTCHOUC R. C. D.

— Para tratamento de produtos químicos.

DE DIETRICH & C.IE

NIEDERBRONN / BAS-RHIN FRANÇA

Sociedade Anónima com o capital 750.000.000 de Frs.

Aparelho de reacção com agitador, em ferro, esmaltado interiormente

Capacidade útil: 125 litros

SECÇÃO:
Fundição e Esmaltagem

Enviam-se catálogos, indicações técnicas e orçamentos, sempre que sejam solicitados

REPRESENTANTE EM PORTUGAL:

RUY DE LACERDA

Rua do Almada, 262 PORTO

OFICINAS E LABORATÓRIOS
DO
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

contos anuais e fomentando por melhoria incontestável de todo o serviço um notável aumento de receitas, limitar-se-ia a uma importância anual da ordem de:

140 a 160.000 contos.

Pode o País fazer este esforço?

Não posso responder com uma precisão exacta, mas por sentimento eu penso que sim.

Se esta convicção não é um erro, então a bem da economia do País, do serviço ferroviário e dos portugueses, aplique-se a doutrina que atrás citei:

«Electrifiquemos quanto antes».

OS ULTRA-SONS NA TÉCNICA METALÚRGICA

POR AGOSTINHO BARGONE
Prof. do I. S. T.

(Conclusão)

C. D. 669 534.321.9

Aplicações na metalurgia

a) *Exame não destrutivo dos materiais metálicos.*

É sabido que a determinação e, em particular, a localização de defeitos internos nos materiais metálicos (fendas microscópicas, bolhas gasosas, inclusões não metálicas e heterogeneidades em geral) sem a sua destruição preventiva, têm constituído e constituem sob todos os aspectos um dos mais importantes problemas técnicos, no que respeita ao contrôle e verificação final dos referidos materiais.

O emprego dos raios X que já há alguns anos foi introduzido e adaptado aos laboratórios de verificação final com resultados satisfatórios, tem a desvantagem de uma aparelhagem complicada e incómoda, com a consequente dificuldade do transporte de uma secção para outra e portanto a dificuldade de poder seguir «in loco» o exame das peças, durante as várias fases da laboração. Temos de juntar a isto o perigo de trabalhar com tensões de corrente bastante elevadas e a necessidade de adoptar nos locais de trabalho todas aquelas formas de profilaxia obrigatórias, quando se deva instalar aparelhagem Roentgen de elevada potência, com o fim de preservar o pessoal de radiações sempre nocivas.

Por outro lado, devendo existir uma determinada relação entre a espessura da peça e as dimensões do defeito, acontece às vezes que, se a espessura é bastante elevada e se a heterogeneidade não é muito pequena, não se dispõe do comprimento de onda tal que se possa estar seguro de que o defeito será posto em evidência.

Um método que não apresenta os inconvenientes apontados para os raios X, de manejo fácil e seguro e que, cada vez mais, vem conquistando importância nos laboratórios de contrôle, é o que se baseia no emprego dos ultrasons.

Como já se disse anteriormente, a propagação das ondas elásticas depende da relação entre o comprimento de onda e a superfície da fonte sonora, para um determinado valor desta relação pode obter-se, como no caso das ondas luminosas, uma propagação de direcção radial e, portanto, obter como efeito no caso da presença de um obstáculo uma sombra sonora que servirá, não só para indicar a presença ao próprio obstáculo, como para o localizar.

Por outro lado, é sabido que, dada a alta frequência de vibração, um feixe ultrasonoro para determinados valores da resistência acústica do material pode ser reflectido e até absorvido por uma heterogeneidade presente no meio de propagação.

Nestas duas interessantes características dos ultrasons se baseiam os métodos de pesquisa de heterogeneidades nos materiais metálicos.

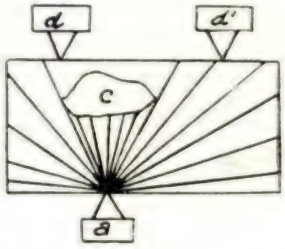


Fig. 6 — Esquema do dispositivo de Mülhäusen (O. Mülhäusen)

Assim, servindo-se da primeira característica, O. Mülhäusen, que foi o primeiro a imaginar esta aplicação dos ultrasons, conseguiu pôr em evidência a presença de uma cavidade numa barra de aço. A aparelhagem

de que se serviu O. Mülhäusen é a que se representa esquemàticamente na figura 6: um gerador de ondas ultrasonoras, a, envia um feixe de ultrasons para a peça, b. Colocado atrás da cavidade, c, o receptor de ultrasons não revela pràticamente qualquer onda ultrasonora na região d, mas revela, por outro lado, a passagem de um feixe ultrasonoro se é colocado na posição d.

Sokoloff, por sua vez, utilizou para revelar a presença de discontinuidades, um efeito devido a Debye, isto é a produção de figuras de difracção que em condições particulares são provocadas pelas ondas ultrasonoras em meio líquido, quando este é por elas atravessado.

Portanto, fazendo atravessar um material metálico por um feixe de ultrasons e pondo aquele em contacto com um líquido, no qual as ondas ultrasonoras continuam a propagar-se, se o material não apresenta qualquer heterogeneidade interna as ondas ultrasonoras passam sem se enfraquecer e darão lugar no líquido a imagens de difracção como a que se mostra na figura 7 *a*; se, pelo contrário, o material examinado apresenta faltas de homogeneidade, as ondas ultrasonoras serão reflectidas e absorvidas nos pontos em que se verifica a presença de defeitos, dando lugar neste caso a imagens de difracção enfraquecidas ou absorvidas (cf. figura 7 *b*).

Nas figuras 8 *a* e 8 *b*, refere-se um método de pesquisa imaginado por Giacomini, do Instituto Electroacústico de Roma; este método difere do de Sokoloff porque em vez de fazer um exame indirecto do feixe ultrasonoro, este é examinado directamente usando como líquido revelador o xilol. O exame diz respeito a uma amostra de alumínio e da figura 8 se vê como aparece no écran a imagem da cuva que contém o xilol; em cima está o perfil do cilindro e em baixo a imagem em luz difractada do feixe ultrasonoro. É evidente que a peça examinada aparece isenta de imperfeições (figura 8 *a*) sempre que estas não tenham dimensões confrontáveis com o comprimento da onda sonora que atravessa a peça e, no caso presente, o comprimento de onda é de cerca de 2,1 mm.

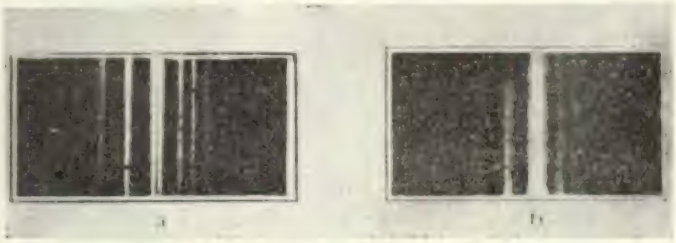
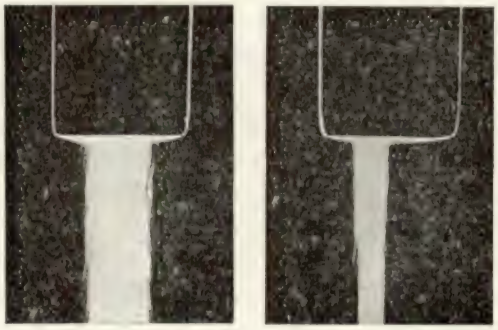


Fig. 7 — Imagens de difracção produzidas num líquido pelos ultrasons, depois de ter atravessado
a) um metal sem defeito
b) um metal com defeito
(Sokoloff)



(a) *(b)*

Fig. 8 — Imagem de um feixe de ultrasons no xilol, depois de ter atravessado
a) metal sem defeito
b) metal com defeito
(Giacomini e Bertini)

A figura 8 *b*, por seu lado, mostra como aparece o campo quando se praticou no cilindro um entalhe transversal de 0,5 mm

de espessura e cuja profundidade atinge o eixo; na zona correspondente ao defeito o feixe foi completamente impedido de passar.

Como é fácil de prever, basta um estrato de ar bastante mais subtil para poder impedir a passagem da radiação ultrasonora.

Tínhamos indicado estes dois métodos com referência apenas a simples pesquisas e estudos de laboratório, com o fim de pôr em evidência, em toda a sua importância, a diferença substancial que distingue o comportamento dos raios X do dos ultrasons, como meio de pesquisa.

Com efeito, o uso dos raios X baseando-se sobre os diferentes valores que tem o coeficiente de absorpção no sólido a examinar e nas inclusões exige que a relação entre a extensão do percurso efectuado pelas radiações na inclusão e no sólido na qual ela existe seja relativamente grande, enquanto que com os ultrasons a presença de inclusões é notada porque, na passagem do sólido a uma heterogeneidade, a radiação é quase completamente absorvida ou reflectida; na verdade, é bastante profunda a diferença que existe entre a resistência acústica específica dos dois meios (material e defeito.)

Na figura 9 está referida a realização de um aparelho de uso corrente nos laboratórios de contrôle, executado por Henry, Hughes & Son, de Londres.

A aparelhagem, no seu conjunto, é muito simples e fácil de manejar. É constituída por um gerador de ultrasons de quartzo piezo eléctrico, por duas sondas sonoras (uma transmissora e outra receptora) que se aplicam à peça em exame e por um oscilógrafo de raios catódicos, como meio revelador do feixe ultrasonoro na emissão e na recepção e da parte aliquota reflectida pela heterogeneidade ou defeito presente no meio

As dimensões da heterogeneidade são dadas pela grandeza da marcação luminosa no oscilógrafo, enquanto que a sua localização pode ser deduzida pelo ponto de chegada das duas ondas ultrasonoras sobre a superfície da peça e pela profundidade da própria heterogeneidade, esta posta em evidência lendo sobre a escala oposta situada no écran fluorescente do oscilógrafo, a distância relativa entre a marcação que indica a entrada do feixe ultrasonoro no material em exame, o que indica a parte reflectida

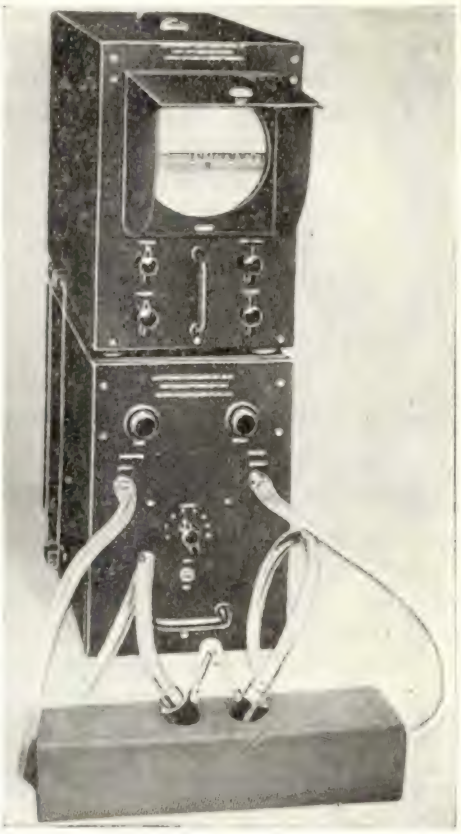


Fig. 9 — Aparelhagem para controle de materiais metálicos constituída pela casa Henry, Hughes & Son, Londres

pela presença da heterogeneidade e a qual indica a chegada do feixe ultrasonoro à superfície oposta da peça (cf. figura 10).

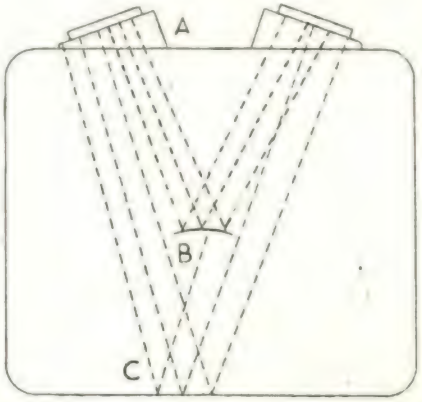


Fig. 10 — Esquema do mecanismo segundo o qual um feixe ultrasonoro se comporta ao atravessar uma superfície metálica com defeito

(Henry, Hughes)

b) *Acção sobre a estrutura dos metais e das ligas*

Na acção dos ultrasons sobre a estrutura de metais e de ligas, podem distinguir-se duas classes de fenómenos interessantes e característicos:

1) afinação da estrutura cristalina.

2) formação de suspensões de um metal em outro, no caso específico de não haver qualquer miscibilidade quer no estado sólido quer no estado líquido.

As microfotografias referidas na figura 11 mostram a estrutura cristalina do duralumínio obtida.

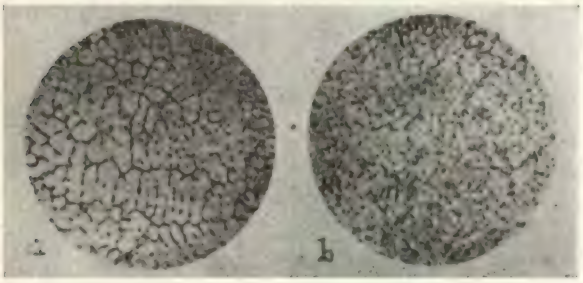


Fig. 11 — *a*) Estrutura do duralumínio que não sofreu acção ultrasonora durante a fusão (ampl. × 20)
b) idem, submetido à acção dos ultrasons (ampl. × 20)
(Schmid)

a) sem a intervenção dos ultrasons.

b) deixando solidificar a liga sob a acção de vibrações elásticas de alta frequência.

Como é claramente visível pelo exame das duas micrografias, a estrutura do duralumínio submetido à acção dos ultrasons é muito mais fina e só comparável à estrutura que é possível obter, na mesma liga, se esta for submetida a uma laboração a quente (forjagem, estampagem, laminagem) e sequente tratamento térmico.

A formação de uma estrutura tão fina por efeito da acção dos ultrasons parece, segundo Schmid, que deve filiar-se na intensidade sonora posta em jogo, a qual parece capaz de gerar forças de atrito entre os cristais e o líquido presente e ainda não solidificado, proporcionais, segundo a lei de Stokes, à velocidade com que tem lugar a oscilação.

Nesta base, o mesmo Schmid conseguiu encontrar uma relação analítica para demonstrar que as forças de atrito que se geram entre os cristais e o líquido superam efectivamente a carga de rotura à flexão — destes cristais, ainda que supostos perfeitamente cilíndricos e nas melhores condições de resistência.

Não menos interessante do que a primeira, é a segunda característica, isto é, a que é capaz de dar lugar à difusão de um metal no outro conseguindo-se assim criar um tipo de ligação entre dois ou mais metais, não obtenível por outros meios se entre eles existe completa imiscibilidade no estado líquido.

A importância prática e técnica desta característica particular deduz-se fàcilmente, se se pensa que deste modo é possível, por exemplo, criar outros materiais anti-fricção e melhorar as possibilidades de laboração a frio de alguns metais.

Na microfotografia da figura 12 mostra-se como se apresenta uma fusão de chumbo

Fig. 12 — Aspecto da camada de separação entre chumbo e zinco; solidificação sem ultrasons (ampl. × 50)
(A. Bargone — F. Rinaldi)

e zinco depois de solidificação, enquanto na figura 13 se mostra a mesma fusão quando a solidificação tem lugar sob a acção dos ultrasons. Como é sabido, chumbo e zinco

são prática e completamente imiscíveis seja no estado líquido, seja no estado sólido, e por isso se dispõem segundo dois estratos completamente separados um do outro, dos quais o inferior é formado quase exclusivamente por chumbo, visto que este é dos dois o mais denso.

Fig. 13 — Aspecto do emulsionamento do chumbo com o zinco, por efeito dos ultrasons (ampl. × 100)
(A. Bargone — F. Rinaldi)

Sob a acção ultrasonora, é, por outro lado, possível obter uma suspensão do chumbo no zinco e conseguir assim uma estrutura comparável de certo modo à de uma liga eutética.

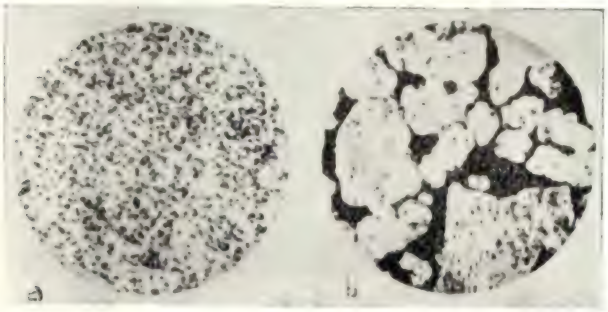


Fig. 14 — Suspensão do chumbo em alumínio, por efeito ultrasons (ampl. × 20)
a) parte alta da amostra
b) parte baixa da amostra
(Shmid e Ehret)

É de notar que ao autor foi possível provar que estas «suspensões» têm um tal grau de «estabilidade» que se conservam mesmo depois de uma fusão posterior, sem intervenção da acção ultrasonora.

Na micrografia da figura 14 mostra-se uma suspensão do chumbo em alumínio referente a um trabalho de Schmid sobre o

a

b

Fig. 15 — Microfotografia de uma mistura Pb — Zn — Sn
a) sem alteração ultrasonora
b) depois da acção dos ultrasons (ampl. × 70)
(A. Bargone — F. Rinaldi)

assunto, enquanto na microfotografia da figura 15 se tem uma mistura de três metais

(chumbo, zinco, estanho) que apresentam uma lacuna de miscibilidade,

a) sem a acção de ultrasons

b) sob a acção de ondas ultrasonoras.

Interessante, é o mecanismo com o qual se gera este fenómeno de «emulsionamento». Com efeito, dos resultados obtidos pelo autor e por um seu colaborador, sobre mi-

Fig. 16 — Formação dos elementos esferoidais de zinco zona de separação dos dois metais, em via de desagregação (ampl. × 50)

(A. Bargone — F. Rinaldi)

crofotografias de amostras submetidas durante tempos diferentes à acção ultrasonora, verifica-se que o mecanismo não seria o que supõe Marinesco, isto é, por efeito de microondas estacionárias de superfície coloidal que se formariam no líquido a emulsionar, cujas cristas, sob a acção de fortes perturbações, se franjam com formação de gotículas no meio dispersante, mas sim o que é proposto por Süllner e Brondy, na formação de suspensões de mercúrio em água, e por Schmid e Ehret nas suspensões de chumbo no alumínio.

Ter-se-ia em um primeiro tempo a formação de elementos esferodais do meio dispersante (cf. fig. 16) que comprimidos por acção dos ultrasons no meio a dispersar (cf. figura 17) se desagregariam numa segunda fase (cf. figuras 18 e 19) dando lugar a projecções mais ou menos grandes do meio a dispersar no dispersor.

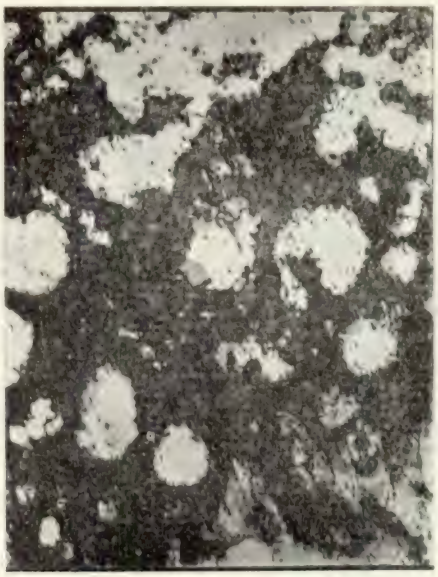


Fig. 17 — Elementos esferoidais de zinco premidos para a massa do chumbo (ampl. × 50)

(A. Bargone — F. Rinaldi)

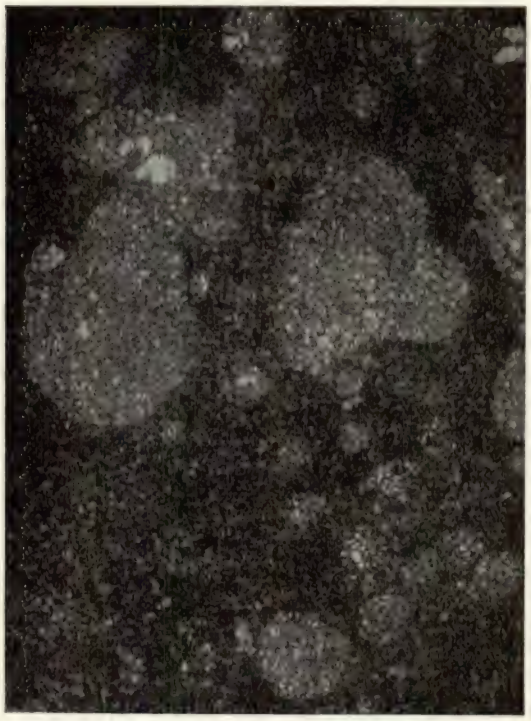


Fig. 18 — Aspecto da desagregação dos elementos esferoidais de zinco (ampl. × 50)

(A. Bargone — F. Rinaldi)

Este último processo, além de ter sido provado pelo exame das microfotografias supracitadas, pode encontrar uma explica-

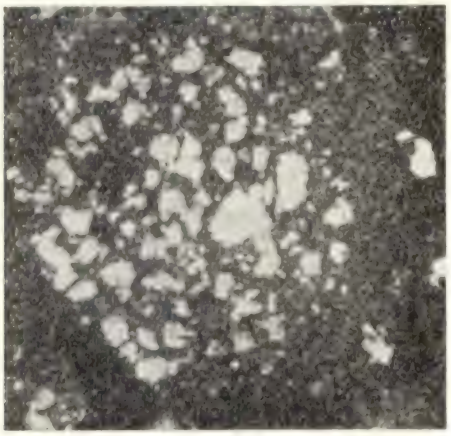


Fig. 19 — Pormenor da microfotografia anterior (ampl. × 600)
(A. Bargone — F. Rinaldi)

ção satisfatória, se se considera que, segundo a relação

$$A = \frac{1}{\omega}\sqrt{\frac{2\,W}{\rho\,V}},$$

a amplitude de vibração das partículas do metal mais pesado (e, no caso do chumbo, de menor resistência acústica) resulta menor do que a das partículas do metal mais ligeiro.

Por tal razão, o metal a dispersar seria numa primeira fase invadido por elementos esferoidais do metal dispersante, enquanto em uma segunda fase estes elementos movidos pela pressão de onda para regiões de pressão estática menor, se desagregariam projectando partículas do metal mais pesado na massa do outro.

* * *

Descritas as duas mais importantes aplicações, das quais uma pertence já completamente ao domínio do campo técnico, vamos dar uma breve resenha das outras aplicações, que, por se terem mantido no campo experimental não são por isso menos interessantes e menos importantes do que a primeira.

Assim, experiências relativas à acção das vibrações ultrasonoras sobre materiais metálicos devidas a Mahoux, provam que elas aumentam a difusão molecular; a nitruração do aço, por exemplo, tem lugar muito mais ràpidamente e conduz a valores da dureza mais elevados que os normais, resultados estes que foram posteriormente confirmados por Guillet, Dubert e Duval; o crómio depositado por electrólise penetra no aço doce 35/100 de mm em 9 horas, enquanto que o níquel precipitado numa lâmina de aço que vibra com alta frequência é uniformemente absorvido já a 450° C. Por fim, uma amostra de gusa tratada a 350° C em corrente de ar descarbura-se difundindo-se da fase metálica rica em carbono para a fase aeriforme.

Executaram-se outros estudos no campo dos equilíbrios metaestáveis; assim, por exemplo, para a passagem do estanho branco tetragonal a estanho cinzento cúbico, encontrou-se que depois de 1 hora de tratamento ultrasonoro a temperatura de — 20° C., o estanho branco começa a transformar-se em estanho cinzento, sem que no entanto seja necessária a presença de pó deste último.

Conseguiu-se, por outro lado, nestes últimos anos obter por efeito dos ultrasons a estanhagem de fios de alumínio com o fim de evitar as corrosões que se verificam quando este metal se encontra em contacto com o cobre, o que acontece quando é usado como condutor.

Finalmente, Sokoloff servindo-se de um gerador de quartzo piézo-eléctrico e trabalhando com frequências variáveis de 70 a 3100 kHz e com intensidades sonoras de cerca de 80 watt, encontrou que, usando como metal de ensaio o zinco, se conseguia fazê-lo solidificar em menos tempo e a temperatura inferior, ao mesmo tempo que, depois da solidificação, o referido metal apresentava um desenvolvimento cristalino dendrítico até agora desconhecido no zinco refundido normalmente. Tais resultados, é bom precisar, não foram porém ainda confirmados pelos investigadores alemães Schmid e Ehret.

Outras pesquisas puseram em evidência que para o efeito coagulante produzido pelos

ultrasons sobre partículas em suspensão em líquidos é possível prever como campo de aplicação a eliminação de inclusões não metálicas dos metais ou das ligas no estado de fusão e também (Boyle), por efeito de fenómenos de cavitação, a eliminação de gases oclusos nos metais.

Não parece ainda chegado o momento oportuno para uma síntese crítica serena sobre o valor utilitário dos ultrasons no campo metalúrgico; é porém fora de dúvida que é possível obter por meio deles, resultados notáveis e não seria de espantar o facto de que esta forma de intervenção viesse ainda a encontrar um largo campo de aplicação.

O que fica certo é que, esta forma de energia vibrante, representa indubitàvelmente uma conquista científica de alto interesse teórico-prático.

I. S. T.— Abril 1950.

BIBLIOGRAFIA

a) *Obras sobre os ultrasons*

1) BERGMANN — Der Ultraschein und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. — VDI — Verlag GMBH Berlin 1939.

2) FEDERICI — Acustica subacques e ultrasuoni — Società Editrice Internazionale 1944.

b) *Trabalhos e publicações sobre os ultrasons na metalurgia*

1) + MAHOUX — Influence des oscillations à haute frequence sur les traitements des produits metallurgiques — C. R. Acad. Sci., Paris Vol. 191 (1930) pág. 1328.

2) + GUIELET — Remarques sur la communication précédente (Mahoux) — Loc. cit. pág. 1331.

3) + KRUEGER — KOOSMANN — Verfahren zum Entgasen von Schmelzen D. R. P. 604486 (1931).

4) MUEHLHÄUSEN — Verfahren zur Zustandsbestimmung von Werkstoffen, besonders zur Ermittlung von Fehlern darin. D. R. P. 569598 (1931).

5) HERTL — Verfahren zur reinigenden Behandlung von Metallbädern. — Österr. Patent 142886 (1934).

6) SOKOLOFF — L'influence des ondes ultraacustiques sur le procès de solidification des métaus fondus. — Acta Physicochim. U. R. S. S. Vol. 3 (1935) pág. 939.

7) HOLLMANN E BAUCH — Der magnetische Barkhausen — Effekt bei Ultraschallbestrahlung. — Naturwiss. Vol. 23 (1935) pág. 35.

8) MASING E RITZAU — Zur Frage del Automatenaluminiums. Z. Metallkde. Vol. 28 (1936) pág. 293.

9) SEEMANN — Metallforschung mit Ultraschall — Metallwirtsch. Vol. 15 (1936) pág. 1067.

10) MAHOUX — Neue experimentelle Untersuchungen äber Ultraschallwellen. — Méchanique. Vol. 21 (1937) pág. 281.

11) GOTTSCHALK E ST. CAIR — Use of sound supersonic waves in metallurgy. — Min. & Metall. Vol. 18 (1937) pág. 244.

12) JAHN E REISINGER — Herstellung von feinkörnigen Gussstücken aus Metallen und Metalllegierungen durch Austreiben der Gas — und Schlackeneinschlösse aus dem fliessenden Giessgut/- Brit. Patent 456657 (1937).

13) + SCHMID E EHRET — Die Wirkung intensiven Schalls auf Metallschmelzen — I Vorversuche Z. Elektrockem. Vol. 43 (1937) N. 11 pàg. 869.

14) + SCHMID E EHRET — Beeinflussung der Metallpassivität durch Ultraschall. — Z. Elektrochem. Vol. 43 (1937) pág. 408.

15) KLEIN — Die Entgasung von Glasschmelzen durch Schallwellen Glastchn. Ber. Vol. 16 (1938) pág. 232.

16) KRUEGER — Die Entgasung von Glasschmelze durch Schallwellen Glastechn. Ber. Vol. 16 (1938) pág. 233.

17) + SCHMID E ROLL — Die Wirkung intensiven Schalls auf Metallschmelzen — II Die Bedeutung der Frequez und Intensitat des Schalls für die Kornverfeinerudg. — Z. Elektrochem. Vol. 45 (1939) n.° 10 pág. 769).

18) + GIACOMINI E BERTINI — Perfezionamento del metodo per accertare l'omogeneitá dei solidi mediante ultrasuoni. — Ricerca Scient. n.° 10 (1939) vol. X.

19) + SCHMID E ROLL — Die Wirkung intensiven Schalls auf Metallschmelzen — III Auflö-

sung von Eisen in geschmolzenem Zink. — Z. Elektrochem. Vol. 46 n.º 12 (1940) pág. 653.

20) + SCHMID E JETTER — Einfluss von Ultraschal. auf das magnetische Verhalten von Nickell — Z. Elektrochem. Vol. 47 n.º 2 (1941).

21) + MARINESCO — Action des ultra-sons sur les colloides. — Chimie & Industrie Vol. 55 n.º 2 (1946) pág. 87.

22) + MARINESCO — Les ultra-sons en métallurgie. — Chimie & Industrie Vol 55 n.º 3 (1946) pág. 180.

23) + MARINESCO — Effets thermiques et chimiques des ultra-sons Chimie & Industrie Vol. 55 n.º 4 (1946) pág. 263.

24) + A. BARGONE. F. RINALDI — Azione delle vibrazioni sonore ad alta frequenza su alcuni sistemi metallici con lacune di miscibilitá — Técnica Italiana — Trieste 1948 n.º 2.

Agradeço ao meu aluno Victor Pinto Pinheiro a sua valiosa colaboração e amabilidade em verter o texto em língua portuguesa.

A NOSSA CAPA

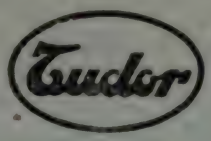
Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos. Obra de Campilhas.— «Tournapull» executando movimentos de terras para a barragem. Estas máquinas são das mais potentes para aquele fim: têm comando eléctrico, cinco velocidades para a frente e uma para trás, podendo atingir a velocidade de 55 km/h. O motor do tractor tem a potência de 180 H. P. A capacidade de transporte é de 10 m^3 ou de 16 ton. Pesam 32.220 libras (cerca de 16.000 kg). São dotados de grande poder de manobra, pois o tractor é movel em torno dum eixo vertical, podendo fazer com o reboque um ângulo de 90°.

BATERIAS DE ARRANQUE

- MAIOR DURAÇÃO
- TÉCNICA MODERNA
- FAMA MUNDIAL

QUEM UMA VEZ COMPROU

• • • SÓ QUERE

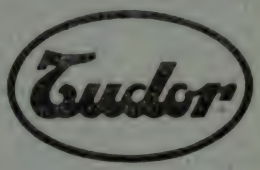


PARA: AUTOMÓVEIS, CAMIÕES, TRACTORES, BARCOS, ETC.

EXIJA SEMPRE BATERIAS

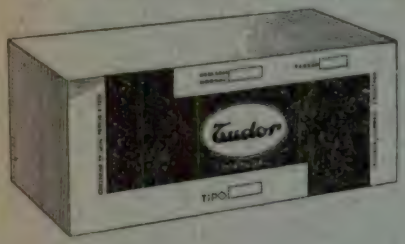
15 ANOS DE FABRICAÇÃO EM PORTUGAL

A MAIOR REDE DE ESTAÇÕES DE SERVIÇO DE TODO O PAÍS

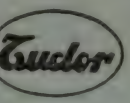
PILHAS SECAS 

AS PILHAS ECONÓMICAS PARA:

LANTERNAS—TELEFONES—RÁDIO-RECEPTORES—CAMPAÍNHAS—APARELHOS DE SURDEZ—APARELHAGEM MEDICINAL, ETC., E PARA TODAS AS APLICAÇÕES



À VENDA EM TODAS AS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE

PILHAS SECAS 

15 ANOS DE FABRICAÇÃO EM PORTUGAL

ESTAÇÕES DE SERVIÇO

AV. ALMIRANTE REIS, 68—TELEF. 51948—LISBOA

RUA DO ALECRIM, 99—TELEF. 20823—LISBOA

Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

MOBILIÁRIO METÁLICO

EM TODOS OS GÉNEROS

Instalações completas para :

Mobiliário moderno
para

ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

CLÍNICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57
Avenidas da República e Elias Garcia — Rua da Graça, 82 e 84

Estudo do circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado em regime forçado

PELO ENG.º ELECT. (I. S. T.) MANUEL JOSÉ DE ABREU FARO
Assistente do I. S. T.

(Conclusão)

C. D. 538.551.2

2.ª Aplicação

Circuito com resistência

Vamos agora considerar as aplicações feitas para o caso do circuito ter resistência.

Em todas as aplicações utilizaram-se os seguintes valores:

$C = 50{,}5\ \mu F$

$f = 50\ H_3$

$i = 0{,}6\ \varphi + 16{,}5\ \varphi^5$

$\alpha = 0{,}12 \qquad \beta = 3{,}3\ [V.\ S.]^{-4}$

estas grandezas para quatro valores de x_1 e para ε igual a:

$\varepsilon = 0{,}2 \quad R = 12{,}6\ \Omega$

$\varepsilon = 0{,}4 \quad R = 25{,}2\ \Omega$

$\varepsilon = 0{,}6 \quad R = 37{,}8\ \Omega$

$\varepsilon = 0{,}8 \quad R = 50{,}4\ \Omega$

$\varepsilon = 1{,}0 \quad R = 63{,}0\ \Omega$ Quadros n.os 11 e 12

Verificando-se como anteriormente se havia deduzido que p_{φ_3}, percentagem da 3.ª harmónica no fluxo, aumenta com a saturação magnética para ε constante, e que

QUADRO N.º 11

x_1	λ	Determinação teórica de p_{φ_3} % $C = 50{,}5\ \mu F$ $f = 50\ H_3$				
V. S.	—	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 0{,}2$	$\varepsilon = 0{,}4$	$\varepsilon = 0{,}6$	$\varepsilon = 0{,}8$
0,50	0,064	0,75	0,88	1,17	1,56	1,95
0,65	0,184	2,37	2,78	3,64	4,70	5,75
0,80	0,422	6,65	7,60	9,25	10,90	12,30
0,85	0,537	9,55	10,50	12,10	13,50	14,50

QUADRO N.º 12

x_1	λ	Determinação teórica de δ_3 $C = 50{,}5\ \mu F$ $f = 50\ H_3$				
V. S.	—	$\varepsilon = 0{,}2$	$\varepsilon = 0{,}4$	$\varepsilon = 0{,}6$	$\varepsilon = 0{,}8$	$\varepsilon = 1{,}0$
0,50	0,064	33° 0′	54° 20′	67° 0′	75° 40′	81° 45′
0,65	0,184	36° 20′	61° 0′	76° 50′	88° 5′	96° 45′
0,80	0,422	45° 0′	77° 0′	98° 10′	112° 0′	123° 0′
0,85	0,537	50° 40′	86° 40′	108° 0′	120° 30′	131° 0′

a) *Determinação teórica de p_{φ_3} e δ_3 para diversos valores de ε*

A fim de ter uma noção concreta do modo como variam p_{φ_3} e δ_3 com ε calculamos para um dado valor de x_1 é crescente com ε.

Deve-se notar que x_1 não representa o estado de saturação magnética, pois este

traduz-se pelo valor máximo de φ, que depende de $(x_1, p_{\varphi_3}, \delta_3)$

* * *

"δ_3" também é crescente com x_1 e ε, estando compreendido entre 0° e 180°.

Para

$R = 0$ será $\delta_3 = 0°$, para $R = \infty$ $\delta_3 = 180°$

Atendendo à expressão de φ (84) teremos

$$\varphi = \Phi_1 \operatorname{sen} \omega t + \Phi_3 \operatorname{sen} (3\,\omega t + \pi + \delta_3) \quad (84)$$

$$\Phi_1 = x_1$$

$$\Phi_3 = p_{\varphi_3}\, x_1$$

Para

$R = 0$ $\delta_3 = 0$ $\varphi = \Phi_1 \operatorname{sen} \omega t - \Phi_3 \operatorname{sen} (3\,\omega t)$

$R = \infty$ $\delta_3 = 180°$ $\varphi = \Phi_1 \operatorname{sen} \omega t + \Phi_3 \operatorname{sen} (3\,\omega t)$

Estas expressões dizem-nos que para $R = 0$, a 3ª harmónica tem uma alternância positiva centrada com alternância positiva da fundamental.

Quando $R \neq 0$ é também $\delta_3 \neq 0$ $\delta_3 > 0$, o que significa que a alternância positiva da 3ª harmónica desloca o seu vértice para esquerda, sendo a variação, medida no eixo dos ωt igual a $\frac{\delta_3}{3}$.

Quando $R = \infty$ será $\delta_3 = 180°$ e então a variação é de 60°

Nesta posição, a 3ª harmónica do fluxo apresenta uma alternância negativa centrada com a alternância positiva da fundamental.

Para $R = 0$ a forma do fluxo será triangular dado o pequeno valor de p_{φ_3}, para o estado limite $R = \infty <> \delta_3 = 180°$ o fluxo apresentará uma forma achatada com uma percentagem mais acentuada de 3ª harmónica.

Ao primeiro estado corresponderá, como é evidente da relação $i = a\varphi + b\varphi^5$, uma corrente com elevada percentagem da 3ª harmónica.

Para o estado limite $R = \infty$ a corrente seria sinusoidal.

A confirmar estas conclusões apresentamos os resultados teóricos de 4 aplicações, quadro n.º 13.

Fica assim estabelecido o modo como evoluem a corrente e o fluxo para R crescente.

QUADRO N.º 13

Percentagens %	$x_1 = 0{,}805$ V. S. $\varepsilon = 0$ $R = 0\,\Omega$	$x_1 = 0{,}800$ V. S. $\varepsilon = 0{,}32$ $R = 20\,\Omega$	$x_1 = 0{,}800$ V. S. $\varepsilon = 0{,}54$ $R = 34\,\Omega$	$x_1 = 0{,}700$ V. S. $\varepsilon = 0{,}87$ $R = 55\,\Omega$
p_{φ_3}	7,0	8,5	10,5	12,6
p_{i_3}	54,6	53,5	51,8	47,0

b) *Determinação de alguns pontos das características* $E_{kef} = f\,(I_{ef})_\varepsilon$

Determinamos teòricamente três pontos da característica correspondente a $\varepsilon = 0{,}32$, e um ponto de cada uma das características $\varepsilon = 0{,}54$ e $\varepsilon = 0{,}87$.

Para o cálculo destes pontos utilizamos as expressões:

$$(\alpha - 1)\, x_1 + \frac{10}{16}\,\beta \,.\, x_1^5\,(1 - 2{,}5\, p_3 \cos \delta_3 + 1{,}5\, \varepsilon\, p_3 \operatorname{sen} \delta_3) = \Phi_k \operatorname{sen} \delta \quad (59)$$

$$\varepsilon\, \alpha\, x_1 + \varepsilon \frac{10}{16}\,\beta \,.\, x_1^5\,(1 - 2{,}5\, p_3 \cos \delta_3 - 1{,}5\, \frac{1}{\varepsilon}\, p_3 \operatorname{sen} \delta_3) = -\Phi_k \cos \delta \quad (60)$$

$$p_3 = -p_{\varphi_3} = -\frac{\lambda \sqrt{1 + 9\,\varepsilon^2}}{\sqrt{(9 - \alpha - 6\,\lambda)^2 + 9\,\varepsilon^2\,(\alpha + 6\,\lambda)^2}} \quad (63)$$

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{27\,\varepsilon}{9 - (1 + 9\,\varepsilon^2)(\alpha + 6\lambda)} \qquad (69)$$

A expressão de i pode obter-se a partir da relação

$$i = a\varphi + b\varphi^5$$

resultando

$$i = [a x_1 + b\,{}^5X_{1\varepsilon}] \operatorname{sen} \omega t + b\,{}^5Y_{1\varepsilon} \cos \omega t + \\ + [a x_1 p_3 \cos \delta_3 + b\,{}^5X_{3\varepsilon}] \operatorname{sen} 3\,\omega t + \\ + [a x_1 p_3 \operatorname{sen} \delta_3 + b\,{}^5Y_{3\varepsilon}] \cos 3\,\omega t$$

ou ainda

$$i = I'_1 \operatorname{sen} \omega t + I''_1 \cos \omega t + I'_3 \operatorname{sen} 3\omega t + I''_3 \cos 3\,\omega t = \\ = I_1 \operatorname{sen} (\omega t + \psi) + I_3 \operatorname{sen} (3\,\omega t + \psi_3)$$

em que

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{I''_1}{I'_1} \qquad \operatorname{tg} \psi_3 = \frac{I''_3}{I'_3}$$

$$I_1 = \sqrt{I'^2_1 + I''^2_1} \qquad I_3 = \sqrt{I'^2_3 + I''^2_3}$$

* * *

Pelas relações deduzidas de (7) é fácil obter-se a terceira harmónica da corrente

$$i_3 = I_3 \operatorname{sen} (3\,\omega t + \psi_3)$$

em função das grandezas que definem a 3.ª harmónica do fluxo, fig. (6) relação (14).

Obtendo-se

$$i_3 = \Phi_3 \frac{9\,\omega^2 c}{\sqrt{1 + 9\,\varepsilon^2}} \operatorname{sen} (3\,\omega t + \pi + \delta_3 - \alpha'_3)$$

em que

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = 3\,\varepsilon$$

sendo mais simples este processo de cálculo de i_3.

Foi esta última expressão que usámos para o cálculo de I_3.

* * *

O cálculo das diversas grandezas ordenou-se do seguinte modo.

1) Arbitrar x_1
2) Calcular $\lambda = \frac{5\beta}{16} x_1^4$
3) Cálculo de $p_3 = -p\varphi_3$ (63)
4) Cálculo de $\operatorname{tg} \delta_3$, $\cos \delta_3$, $\operatorname{sen} \delta_3$, δ_3 (69)
5) Cálculo de $(\Phi_k \operatorname{sen} \delta)$ $(\Phi_k \cos \delta)$ (59) (60)
6) Cálculo de Φ_k (59) (60)
7) Cálculo de δ (59) (60)
8) Cálculo de $E_{kef} = |\Phi_k| \frac{\omega}{\sqrt{2}}$
9) Cálculo das componentes de i, I'_1, I''_1 e I_3

Os valores calculados figuram no quadro de valores n.º 14.

Verificação da teoria exposta

Tal como no caso sem resistência vamos fazer a verificação sob dois aspectos:

1—*Verificação da exactidão das soluções:*

Vamos fazer a verificações das equações

$$\overline{E_{B1}} + \overline{E_{C1}} + \overline{E_{R1}} = \overline{E_k} \quad (6)$$

$$\overline{E_{B3}} + \overline{E_{C3}} + \overline{E_{R3}} = 0 \quad (7)$$

e da relação

$$\frac{1}{2} E_k I_1 \cos \alpha = R\, I_{ef}^2 (8)\ (9)$$

* * *

Verificação da equação (7)

$$\overline{E}_{B3} + \overline{E}_{C3} + \overline{E}_{R3} = 0$$

Verificar esta equação equivale a verificar-se a concordância dos valores de i_3 definidos pelas expressões:

$$\text{(I)}\ i_3 = \Phi_3 \frac{9\,\omega^2 c}{\sqrt{1 + 9\,\varepsilon^2}} \operatorname{sen} (3\,\omega t + \pi + \delta_3 - \alpha'_3)$$

$$\text{(II)}\ i_3 = [a x_1 p_3 \cos \delta_3 + b\,{}^5X_{3\varepsilon}] \operatorname{sen} 3\,\omega t + \\ + [a x_1 p_3 \operatorname{sen} \delta_3 + b^5 Y_{3\varepsilon}] \cos 3\,\omega t$$

$$= [a x_1 p_3 \cos \delta_3 - \frac{5\,b}{16} x_1^5 (1 - 6\, p_3 \cos \delta_3)] \operatorname{sen} 3\,\omega t \\ + [a x_1 p_3 \operatorname{sen} \delta_3 + \frac{30\,b}{16} x_1^5 p_3 \operatorname{sen} \delta_3] \cos 3\,\omega t$$

QUADRO N.° 14

Aplicação para $C = 50{,}5\ \mu F$, $f = 50\ H_3$ — Valores teóricos						
Grandeza	Unidades	$\varepsilon = 0{,}32$ $R = 20\ \Omega$			$\varepsilon = 0{,}54$ $R = 34\ \Omega$	$\varepsilon = 0{,}87$ $R = 55\ \Omega$
x_1	V. S.	0,775	0,800	0,825	0,800	0,800
$X = x_1^4$	(V. S.)^4	0,360	0,410	0,463	0,410	0,410
$\lambda = \frac{5\beta}{16} x_1^4$	—	0,371	0,422	0,477	0,422	0,422
$p_3 = -p\varphi_3$	%	7,3	8,5	9,9	10,5	12,6
$tg\ \delta_3$	—	1,93	2,25	2,67	— 21,00	— 1,97
δ_3	—	62° 40′	66° 0′	69° 30′	92° 44′	116° 50′
Φ_k sen δ	V. S.	— 0,077	+ 0,004	+ 0,099	— 0,096	— 0,176
Φ_k cos δ	V. S.	— 0,285	— 0,335	— 0,414	— 0,520	— 0,700
Φ_k	V. S.	— 0,295	— 0,335	— 0,426	— 0,530	— 0,722
δ	—	+ 15° 10′	— 0° 41′	— 13° 30′	+ 10° 40′	+ 14° 0′
E_{Kef}	V	65,5	74,5	94,6	118,0	161,0
I'_1	A	3,58	4,11	4,75	3,85	3,40
I''_1	A	0,27	0,38	0,54	0,53	0,58
I_3	A	1,82	2,20	2,64	1,98	1,60
I_{ef}	A	2,84	3,30	3,86	3,08	2,70
$tg\ \psi$	—	0,075	0,092	0,114	0,138	0,170
ψ	—	4° 20′	5° 15	6° 30′	7° 50″	9° 40′
pi_3	%	50,9	53,5	55,5	51,8	47,0

Vamos verificar dois pontos:

1) $\varepsilon = 0{,}32$
$x_1 = 0{,}825$ V. S.
$I_3 = 2{,}64$ A
$\delta_3 = 69° 30'$ $\quad p\varphi_3 = -p_3 = 9{,}9\ \%$
$tg\ \alpha'_3 = 3\varepsilon = 0{,}94$ $\quad \alpha'_3 = 43° 20'$

Resultando:

(I) $i_3 = 2{,}64 \text{ sen } (3\omega t + 206° 10')$
(II) $i_3 = 2{,}65 \text{ sen } (3\omega t + 205°) =$
$= -2{,}40 \text{ sen } 3\omega t - 1{,}12 \cos 3\omega t$

Verifica-se portanto uma boa concordância:

2) $\varepsilon = 0{,}87$
$x_1 = 0{,}800$ V. S.
$I_3 = 1{,}6$ A
$\delta_3 = 116° 50'$ $\quad p\varphi_3 = -p_3 = 12{,}6\ \%$
$tg\ \alpha'_3 = 2{,}61$ $\quad \alpha'_3 = 69° 10'$

Resultando:

(I) $i_3 = 1{,}60 \text{ sen } (3\omega t + 227° 40')$
(II) $i_3 = 1{,}61 \text{ sen } (3\omega t + 227° 20') =$
$= -1{,}09 \text{ sen } 3\omega t - 1{,}18 \cos 3\omega t$

Continua portanto a obter-se uma boa concordância.

* * *

Verificação da equação (6)

$$\overline{E}_{B1} + \overline{E}_{C1} + \overline{E}_{R1} = \overline{E}_K$$

Para verificar esta equação construimos os diagramas vectoriais correspondentes a

a dois pontos, procedendo-se do seguinte modo:

1) Cálculo de $E_{Rl} = R I_l$ e traçado de $\overline{E_{Rl}}$

2) Cálculo de $E_{Cl} = \frac{1}{\omega c} I_l$ e traçado de $\overline{E_{Cl}}$

3 Cálculo de $E_{Bl} = \omega x_l$ e traçado de $\overline{E_{Bl}}$ a partir do conhecimento de ψ

4) Traçado de $\overline{E_k}$, fecho do diagrama.

A verificação fez-se comparando os módulos de $\overline{E_k}$ de fecho e de $\overline{E_k}$ determinado e, ainda, comparando os ângulos δ de fecho e δ determinado.

Como se verifica fig. (18), a equação (1) é satisfeita dentro da precisão do método gráfico e da régua de cálculo.

pois que

$$\alpha = \angle(\overline{E_k}, \overline{I}) = \delta - \psi$$

como se conclui dos diagramas de (6)

Vamos fazer a verificação para dois pontos:

1) $\varepsilon = 0{,}32$ $\quad R = 20\ \Omega$ $\quad E_k = 92{,}5$ V

$x_l = 0{,}775$ V. S. $\quad I_l = 3{,}58$ A

$\delta = 15^\circ\ 10'$ $\quad I_{ef} = 2{,}84$ A

$\psi = 4^\circ\ 20'$

$\alpha = 10^\circ\ 50'$ $\quad \cos\alpha = 0{,}982$

$$\frac{1}{2} E_k\ I_l \cos\alpha = 162{,}5 \text{ W}$$

$$R\ I_{ef}^2 = 162{,}0 \text{ W}$$

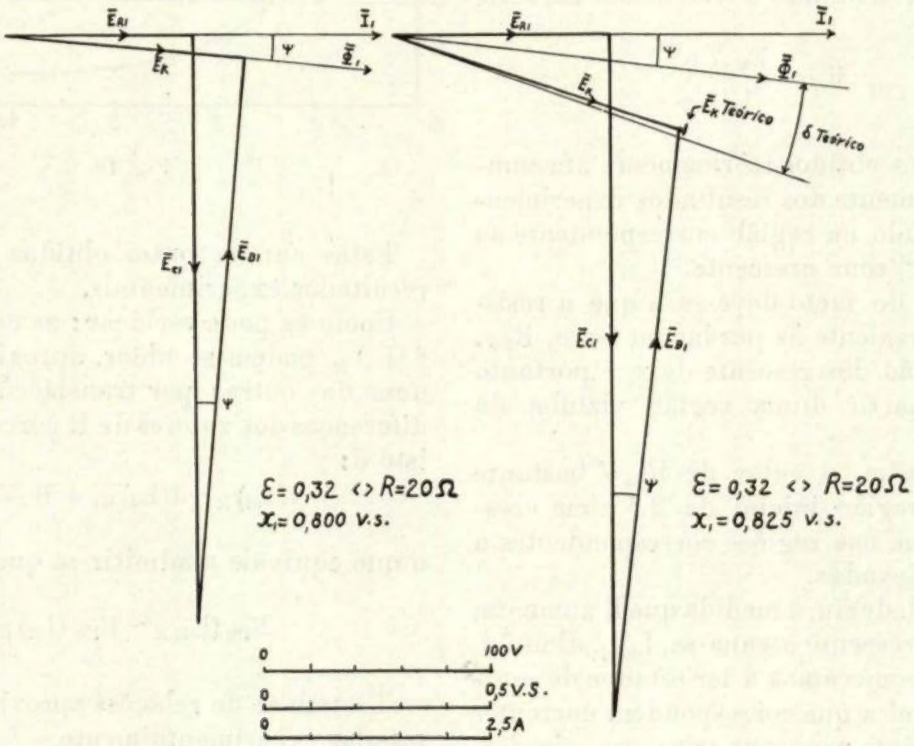


Fig. 18

* * *

Verificação da relação (9)

$$\frac{1}{2} E_k\ I_l \cos\alpha = R\ I_{ef}^2$$

Esta relação pode ainda escrever-se sob a forma:

$$\frac{1}{2} E_k\ I_l \cos(\delta - \psi) = R\ I_{ef}^2$$

2) $\varepsilon = 0{,}54$ $\quad R = 34\ \Omega$ $\quad E_k = 167$ V

$x_l = 0{,}800$ V. S. $\quad I_l = 3{,}85$ A

$\delta = 10^\circ\ 40'$ $\quad I_{ef} = 3{,}08$ A

$\psi = 7^\circ\ 50'$

$\alpha = 2^\circ\ 50'$ $\quad \cos\alpha = 0{,}998$

$$\frac{1}{2} E_k\ I_l \cos\alpha = 321 \text{ W}$$

$$R\ I_{ef}^2 = 322 \text{ W.}$$

Também aqui se verifica uma boa concordância de resultados.

* * *

Concluindo-se portanto que as simplificações feitas são lícitas permitindo as expressões deduzidas determinar com suficiente rigor cada uma das grandezas que interessam e definem os estados de equilíbrio correspondentes às soluções consideradas:

2) *Acordo entre a teoria e os resultados experimentais*:

Continuando a desprezar as perdas no ferro, isto é, definindo a resistência em série por:

$$R = \frac{E_{R\,ef}}{I_{ef}}$$

os resultados obtidos teòricamente afastam-se sensivelmente dos resultados experimentais, sobretudo na região correspondente ao início da 2.ª zona crescente.

A razão do facto deve-se a que a resistência equivalente às perdas no ferro, R_{Fe}, é uma função descrescente de x_1 e portanto de I_{ef} a partir duma região vizinha da origem.

Sendo assim, o valor de R_{Fe} é bastante maior na região inicial da 2.ª zona crescente do que nas regiões correspondentes a correntes elevadas.

Como se deduziu, à medida que R aumenta, a zona descrescente atenua-se, I_{m2ef}, diminui, e portanto começamos a ter estados de equilíbrio estável a que correspondem correntes suficientemente pequenas para que seja desprezável a resistência equivalente às perdas no ferro R_{Fe}.

* * *

Definindo-se a resistência equivalente em série por:

$$R_{eq} = \frac{P_m}{I_{ef}^2}$$

em que P_m representa a potência totalmente dissipada, teremos $R_{eq} = R + R_{Fe}$, observando-se então que os resultados teóricos coincidem muito satisfatòriamente com os resultados experimentais.

Na fig. 19 representa-se:

$$R_{eq} = R + R_{Fe} = f(I_{ef})_R$$

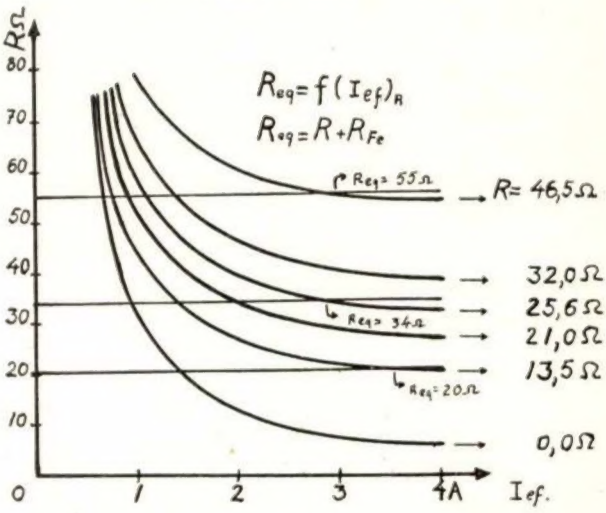


Fig. 19

Estas curvas foram obtidas a partir dos resultados experimentais.

Como se pode verificar: as curvas $R_{eq} = f(I_{ef})_R$ podem-se obter, aproximadamente, uma das outras por translacções iguais às diferenças dos valores de R correspondentes; isto é:

$$f(I_{ef})_R \simeq f(I_{ef})_{R1} + R - R_1$$

o que equivale a admitir-se que:

$$R_{Fe}(I_{ef})_R \simeq R_{Fe}(I_{ef})_{R1}$$

Tratam-se de relações aproximadas constatadas experimentalmente.

Para verificação dos resultados experimentais tomamos em consideração as perdas no ferro.

Como na região correspondente a correntes superiores a 2,5 A, a variação de R_{eq} como I_{ef} é pequena, admitimos nos nossos cálculos $R_{eq} = \text{const.}^e = f(I_{ef})_R$ para $I_{ef} = 3$ A.

Trata-se pois dum processo simplista de tratar a questão e cuja finalidade é a justificação das diferenças observadas entre a teoria e a experiência.

Posto isto, passemos ao exame e comparação dos resultados teóricos e experimentais.

* * *

1) Consideremos os tres primeiros pontos dos cincos calculados. Correspondem à característica $\varepsilon = 0{,}32 <> R = 20\,\Omega$, tendo-se determinado: para:

$x_1 = 0{,}775$ V. S	$E_{k\,ef} = 65{,}5$ V	$I_{ef} = 2{,}84$ A
0,800 V. S	74,5 V	3,30 A
0,825 V. S	94,6 V	3,86 A

Consideremos agora a característica experimental correspondente a $R = 21\,\Omega$, encontramos para os mesmos valores da corrente:

$I_{ef} = 2{,}84$ A	$E_{k\,ef} = 97{,}0$ V
3,30	107,5 V
3,86 A	128,0 V

Dado que o valor da resistência em série, $21\,\Omega$, é muito próximo do valor a que corresponde a aplicação teórica, $20\,\Omega$, podemos concluir que há um afastamento sensível dos resultados teóricos.

* * *

Consideremos agora a característica experimental correspondente a $R = 13{,}5\,\Omega$. Da fig. 19 determinamos para a $R_{eq} = R + R_{Fe}$ do circuito o valor de $20\,\Omega$ para correntes da ordem dos 3 a 4 A.

Considerando, ainda, os mesmos valores da corrente encontramos para a característica experimental $R = 13{,}5\,\Omega$:

$I_{ef} = 2{,}84$ A	$E_{kef} = 71{,}5$ V
3,30 A	79,0 V
3,86 A	94,5 V

Valores estes que coincidem aproximadamente com os valores teóricos determinados para $R = 20\,\Omega$

A concordância dá-se sobretudo para o último ponto a que corresponde $I_{ef} = 3{,}86$ A e a que corresponde, fig. 19, $R_{eq} = 20\,\Omega$.

Aos dois primeiros pontos correspondem R_{eq} ligeiramente superiores, observando-se também que os valores experimentais excedem em pouco os teóricos.

Isto significa que uma vez que se tomou em consideração a resistência equivalente às perdas no ferro, os resultados teóricos acórdam com os experimentais, e que portanto as diferenças observadas resultam essencialmente da resistência equivalente às perdas no ferro não ser desprezável em fase da resistência em série no circuito.

* * *

2) Para $\varepsilon = 0{,}54$ a que corresponde $R = 34\,\Omega$, determinamos teòricamente:

$$E_{kef} = 118 \text{ V} \qquad I_{ef} = 3{,}08 \text{ A}$$

A R_{eq} correspondente à característica experimental $R = 25{,}6\,\Omega$ é $34\,\Omega$ para $I_{ef} = 3$ A.

Experimentalmente encontramos para a característica $R = 25{,}6\,\Omega$ $E_{kef} = 120$ V para $I_{ef} = 3{,}08$ A o que coincide com o valor teórico.

3) Para $\varepsilon = 0{,}87$ corresponde $R = 55\,\Omega$.

Em que $55\,\Omega$ representa o valor de R_{eq} da característica experimental $R = 46{,}5\,\Omega$ para $I_{ef} = 3$ A.

Tendo-se determinado teòricamente para $R = 55\,\Omega$

$$E_{kef} = 161 \text{ V} \qquad I_{ef} = 2{,}7 \text{ A.}$$

Fxperimentalmente encontramos para a característica correspondente a $46{,}5\,\Omega$

$$R = 46{,}5\,\Omega \qquad R_{eq} = 55\,\Omega$$

$$E_{kef} = 165 \text{ V} \qquad I_{ef} = 2{,}7 \text{ A.}$$

observa-se portanto uma boa concordância.

* * *

Verifica-se portanto que a consideração da resistência equivalente, $R_{eq} = R + R_{Fe}$ conduz a resultados concordantes com a teoria.

Convém notar que o facto de utilizarmos nas equações estabelecidas $R = R_{eq}$ equivale a admitir-se ainda que ε é constante

$$\frac{d\varepsilon}{du} = 0.$$